

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Risco de erosão hídrica dos solos na Reserva Ecológica
(Madalena, ilha do Pico, Açores)**

Daniela Filipa Ramalho Quino

Relatório de Estágio orientado
pelo Prof. Doutor Ricardo Garcia

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial
aplicados ao Ordenamento

2017

Universidade de Lisboa

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Risco de erosão hídrica dos solos na Reserva Ecológica
(Madalena, ilha do Pico, Açores)**

Daniela Filipa Ramalho Quino

Relatório de Estágio orientado pelo Prof. Doutor Ricardo Garcia

Júri:

Presidente: Professor Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa;

Vogais:

- Professora Doutora Maria José Leitão Barroso Roxo da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa;
- Professor Doutor Ricardo Alexandre Cardoso Garcia do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

2017

AGRADECIMENTOS

Tenho muito que agradecer aos que estiveram por perto neste último ano do meu percurso académico.

Começando pelo princípio. O meu espetacular orientador, Professor Doutor Ricardo Garcia, que lá estava para aturar os meus e-mails diários a partir do escritório da Quaternaire, e que quando não tinha emails há muito tempo na sua caixa de correio eletrónico me contactava para perceber o que se passava! Sem esta orientação e disponibilidade não seria a mesma coisa! O gosto por este tema também foi despertado numa cadeira de licenciatura em que o Professor lecionava a parte prática. Portanto um grande obrigada pela excelente orientação e pelo conhecimento que me transmitiu ao longo deste tempo.

Aproveito ainda para agradecer a todos os Professores que me transmitiram conhecimento ao longo destes anos e que dispensavam um momento dos seus preciosos tempos para me tirarem dúvidas e trocar ideias pelos corredores do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território! Estes momentos foram muito importantes para o desenvolvimento deste relatório de estágio. Um especial obrigada ao Professor Doutor Jorge Rocha.

À Quaternaire Portugal, Consultoria para o Desenvolvimento SA, que tão bem me acolheu. Um obrigado ao Arq. Paisagista Rui Figueiredo, que responsável por mim, também me tinha de vez em quando a roubar-lhe uns minutos em busca de conhecimento. Um obrigada especial à Arq. Paisagista Ana Barroco que também se interessava no progresso do relatório, assim como foi gentil em me mostrar o seu Relatório de final de curso, onde também tratava de Ordenamento Hídrico. Um obrigada à Ana e à Margarida.

À Associação de Estudantes do IGOT, onde eu fiz amigos que certamente ficarão para sempre. Estes aconselharam-me, apoiaram-me e também estavam lá para me dar um abraço, que provavelmente toda a gente precisa no desenvolvimento de um trabalho de conclusão de mestrado.

A todos os meus coleguinhas da turma de SIGMTAO. Em especial ao Simão, com que desenvolvi muitos trabalhos e que também estava na sua aventura de relatório de estágio.

À Júlia. Pelas Jules reviews. Pelos almoços. Pelas palavras que tanto significaram para mim em dias que as coisas corriam mal. Pela amizade. Júlia, tens Daniela reviews grátis para todo o sempre! Muito obrigada por tudo!

Aos meus amigos de sempre, que me chateavam para eu acabar o relatório, que se disponibilizaram para ouvir os problemas que iam surgindo, que me levavam a beber café para descontrair, por todo o apoio. Obrigado André e Nuno.

Às minhas amigas de sempre. Cada uma com a sua vida e os seus desafios, mas não foi por isso que elas não mostravam o seu apoio. Mónica, Flávia e Helena, obrigada por me apoiarem, mas especialmente pela vossa amizade.

E claro, à minha família. Que por vezes tinha de ouvir falar em erosão hídrica do solo sem saberem patavina do que me estava a referir. Obrigada pelo apoio incondicional.

Ao J.

RESUMO

O presente relatório de estágio tem como tema a erosão hídrica do solo no município da Madalena, situado na Ilha do Pico, Região Autónoma dos Açores.

Este trabalho foi realizado na sequência do estágio curricular na empresa Quaternaire Portugal, Consultoria para o Desenvolvimento S.A., decorrido entre outubro de 2015 e abril de 2016

A delimitação da Reserva Ecológica é fundamental para a elaboração de Planos Diretores Municipais, uma vez que é parte integrante da Planta de Condicionantes. Esta é de extrema importância para o planeamento e ordenamento do território, quer para a tomada de decisões quanto ao uso do solo quer na “proteção” de pessoas e bens contra alguns perigos.

O relatório tem como objetivo perceber quais as dificuldades na delimitação do risco de erosão hídrica do solo num território com especificidades diferentes do território continental, mas que se rege pelas mesmas metodologias e critérios nacionais, enquanto aguarda diploma próprio. Ainda é objetivo a comparação de duas metodologias de avaliação de erosão hídrica do solo: a Perda de Solo Específica, através do produto da Equação Universal de Perda de Solo e da Razão de Cedência de Sedimentos, definida por lei para a delimitação desta componente da RE, e a metodologia presente no Plano de Gestão de Bacias Hídricas, este último comumente utilizado na Região Autónoma dos Açores por falta de informação geográfica para o desenvolvimento da primeira metodologia mencionada.

É ainda desenvolvido neste relatório uma metodologia de generalização de mapas, que poderá ser de utilidade para qualquer componente da Reserva Ecológica, assim como para situações onde a dispersão e falta de homogeneidade dos resultados finais, não constituam uma mais-valia para o planeamento e ordenamento do território.

Os resultados obtidos revelaram-se bastante diferentes. Segundo a metodologia do Plano de Gestão de Bacias Hídricas 29% do território está abrangido pela condicionante em análise da Reserva Ecológica, enquanto segundo a metodologia da Perda de Solo Específica seriam integrados 62% do território. A adoção de uma das metodologias em

detrimento da outra, aquando a elaboração da Reserva Ecológica, deve sempre ter em atenção as mais e menos valias de cada uma delas e sua influência no ordenamento do território.

Palavras-chave: REN, RER, Erosão Hídrica do Solo, EUPS, PGRH, Município da Madalena

ABSTRACT

This report has as its subject the soil erosion caused by water in the municipality of Madalena, located in Pico Island, in the Autonomous Region of Azores.

This paper was carried out while on an internship that took place at Quaternaire Portugal, Consultoria para o Desenvolvimento S.A., between October 2015 and April 2016.

The delimitation of the Ecological Reserve is key for the elaboration of Municipal Plans, since it's part of the Conditioning Plant. This is of utmost importance for spatial planning and territory management, both for land use decision making and for the "protection" of people and property against hazards.

The objective of this report is to understand the difficulties in delimiting soil erosion cause by water in a territory with different characteristics of the continental territory, but which is governed by the same national methodologies and criteria, while awaiting it's own law. Also an objective of this study is to compare two soil water erosion assessment methodologies: the Specific Soil Loss, through the product of the Universal Soil Loss Equation and the Sediment Transfer Ratio, defined by law for the delimitation of this component of RE, and the methodology present in the Plano de Gestão de Bacias Hídricas, commonly used in the Autonomous Region of the Azores due to lack of geographic information for the development of the first mentioned methodology.

Also developed in this study is a map generalization methodology that may be useful for any component of the Ecological Reserve, as well as for situations where the dispersion and lack of homogeneity of the final results do not add value to spatial planning and territory management.

The results obtained were quite different. According to the methodology of the Plano de Gestão de Bacias Hídricas , 29 % of the territory is covered by the conditional analysis of the Ecological Reserve, while according to the methodology of the Specific Soil Loss 62 % of the territory will be integrated.

The adoption of one of the methodologies over the other, when preparing the Ecological Reserve, should always take into account the pros and cons of each of them and their influence territorial management.

Key words: REN, RER, Soil Erosion cause by water, USLE, PGRH, Madalena Municipality.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas	xi
Siglas e Acrónimos.....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Organização do relatório	3
1.4. Quaternaire – Entidade de Acolhimento.....	4
2. Enquadramento histórico e legal.....	7
2.1. Reserva Ecológica Nacional.....	7
2.2. Reserva Ecológica Aplicada à Região Autónoma dos Açores	11
3. Erosão Hídrica do Solo	13
3.1. Erosão do solo.....	13
3.2. Erosão Hídrica	15
4. Enquadramento da área de estudo	17
4.1. Localização	17
4.2. Caracterização Geomorfológica.....	19
4.3. Caracterização Climática.....	24
4.4. Caracterização dos Recursos Hídricos	28
4.5. Caracterização do Uso do Solo, Paisagem e vegetação.....	30
5. Erosão Hídrica do Solo no município da Madalena	35
5.1. Informação Geográfica	35

5.2. Erosão Hídrica do Solo no PDM em vigor	36
5.3. Avaliação da Suscetibilidade à Erosão Hídrica do Solo - Plano de Gestão de Recursos Hídricos	38
5.4. Avaliação da suscetibilidade à Erosão Hídrica do Solo - Reserva Ecológica Regional.....	45
5.4.1. Erosividade da precipitação (R).....	46
5.4.2. Erodibilidade dos solos (K)	51
5.4.3. Fator topográfico (LS).....	62
5.4.4. Fator uso do solo e coberto vegetal (C)	66
5.4.5. Fator práticas culturais (P)	68
5.4.6. Razão de Cedência de Sedimentos (SDR).....	69
5.4.7. Perda de solo específico.....	70
5.4.8. A generalização de mapas.....	71
5.5. Comparação de metodologias.....	76
6. Considerações Finais.....	83
Referências	89
Bibliográficas.....	89
Anuários Climatológicos	94
Documentos cartográficos	97
Normativos	99
Anexo	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fatores que influenciam o ritmo de erosão do solo (Baseado em Morgan, 1986)	14
Figura 2 - Enquadramento geográfico do Arquipélago dos Açores	17
Figura 3 – Municípios e Freguesias da ilha do Pico	18
Figura 4 - Perfis topográficos da ilha do Pico	21
Figura 5 - Distribuição espacial do declive no município da Madalena	22
Figura 6 - Litologia simplificada no município da Madalena	23
Figura 7 - Estruturas tectónicas na ilha do Pico	24
Figura 8 - Estações climatológicas no município da Madalena	25
Figura 9 - Precipitação média mensal, posto udométrico da Madalena (15 m altitude): 1958-1986	26
Figura 10 - Precipitação média anual, posto udométrico de Bandeiras (120 m altitude): 1958-1986	26
Figura 11 - Distribuição Anual das temperaturas média mensal, máxima e mínimas registadas em São Caetano (600 m altitude): 2013-2015	27
Figura 12 – Hidrografia do município da Madalena	29
Figura 13 - Ocupação do solo no município da Madalena	31
Figura 14 - "Proto-ilha" - organização territorial típica de uma ilha de origem vulcânica	31
Figura 15 - Unidades de paisagem e elementos singulares no município da Madalena	33
Figura 16 - Inventário florestal no município da Madalena	34
Figura 17 - Delimitação das áreas de risco de erosão, escarpas e faixas no município da Madalena	37
Figura 18 - Esquema de avaliação da suscetibilidade a erosão hídrica do solo segundo o método do PGRH	39
Figura 19 – Suscetibilidade à erosão hídrica e transporte de material sólido segundo o método PGRH, no, município da Madalena	42
Figura 20 - Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo (PGRH-Pico)	43
Figura 21 - Classes integradas na REN do município da Madalena, de acordo com a metodologia do PGRH	44

Figura 22 - Regressão linear simples entre estações udométricas (ilha do Pico): 1958-1986	49
Figura 23 -Relação do fator R com a altitude (ilha do Pico)	50
Figura 24 - Erosividade da precipitação (R) na ilha do Pico	51
Figura 25 - Esquema conceptual do modelo para predição do tipo de solo.....	53
Figura 26- Código Python para criação de chave única por numeração automática	54
Figura 27 – SQL para junção de tabelas	55
Figura 28 - Exemplo de saída gráfica de árvore de decisão	56
Figura 29 – Exemplo de matriz de confusão	57
Figura 30 - Solos da ilha do Pico	59
Figura 31 - Erodibilidade do solo (K) no município da Madalena	62
Figura 32 - Fator topográfico (LS) no município da Madalena, ilha do Pico	65
Figura 33 - Fator coberto vegetal e uso do solo (C) no município da Madalena	68
Figura 34 - Razão de cedência de sedimentos (SDR) no município da Madalena	70
Figura 35 – Classificação de perda de solo específico (PSE) no município da Madalena (Pré Generalização)	72
Figura 36 - Modelbuilder: Esquema de geoprocessamento de generalização (Etapa 1)73	
Figura 37 - Modelbuilder: Esquema de geoprocessamento de generalização (Etapa 2)74	
Figura 38 - Classificação de perda de solo específico (PSE) no município da Madalena (Com Generalização)	75
Figura 39 - Classificação de perda de solo específico (PSE) no município da Madalena (Metodologia PSE – 5 classes generalizada).....	77
Figura 40 – Erosão hídrica do solo no município da Madalena (Metodologia PGRH generalizada)	78
Figura 41 - Comparação de áreas integradas na Reserva Ecológica segundo diferentes metodologias de análise de risco à erosão hídrica do solo no município da Madalena	79

ÍNDICE DE TABELAS

Quadro 1 – Áreas integradas em REN segundo o Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, artigo 4.º alínea 2ª	10
Quadro 2 - População residente e densidade populacional por freguesia do Município da Madalena (2011).....	19
Quadro 3- Valores de densidade de para as bacias hidrográficas da ilha do Pico	29
Quadro 4 - Fontes de informação geográfica.....	35
Quadro 5 - Parâmetros de avaliação de suscetibilidade à erosão hídrica – Classes e Índices de erosão.....	38
Quadro 6 -Reclassificação dos resultados no método de avaliação de erosão hídrica do PGRH	40
Quadro 7 -Matriz de coeficientes de correlação de Pearson.....	48
Quadro 8 - Precipitação (P) e índice de erosividade (Ei) em estações udométricas da ilha do Pico	50
Quadro 9 - Reclassificação de coeficiente de declive (m) segundo o declive	64
Quadro 10 - Classificações do fator coberto vegetal e uso do solo (C).....	67
Quadro 11 -Classes de perda de solo específico segundo orientações estratégicas da REN	71
Quadro 12 - Diferenças de área ocupada por cada classe antes e depois de generalização	74
Quadro 13 – Importância das classes de risco de erosão hídrica do solo, segundo os modelos PGRH e PSE, no município da Madalena (ilha do Pico)	79
Quadro 14 - Tabela de concordâncias entre as metodologias utilizadas (%)	80

SIGLAS E ACRÓNIMOS

CCDR-LVT – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo

CEC – Commission of the European Communities

CNMG – Centro de Clima, Meteorologia e Mudanças Globais da Universidade dos Açores

CVARG – Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos

DRA – Direção Regional do Ambiente

DRRF - Direção Regional dos Recursos Florestais

DSRHOT – Direção de Serviços de Recursos Hídricos e Ordenamento do Território

ESB – European Soil Bureau

ESDAC – European Soil Data Centre

EUPS – Equação Universal de Perda de Solo

IGeoE – Instituto Geográfico do Exército

INMG – Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

ISRIC – World Soil Information

MDE – Modelo Digital de Elevação

PDM – Plano Diretor Municipal

PGRH – Plano de Gestão de Recursos Hídricos

PROTA - Plano Regional de Ordenamento do Território dos Açores

RAA – Região Autónoma dos Açores

REN – Reserva Ecológica Nacional

RER – Reserva Ecológica Regional

RJREN - Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional

SMN – Serviço Meteorológico Nacional

SRAMA - Secretaria Regional do Ambiente e do Mar

USDA – United States Department of Agriculture

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A investigação acerca da erosão do solo, segundo Renard, K. (1985), começou por volta de 1912, no Utah, por investigadores como A.W. Sampson Hugh Bennet (1928), trouxe a discussão da importância da conservação do solo a público e ao Congresso dos Estados Unidos da América após ser co-autor da publicação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América “*Soil Erosion: A National Menace*” em 1928. Segundo Wischmeier & Smith (1978) as equações para prever a erosão hídrica do solo começaram a ser desenvolvidas por volta dos anos 1940, principalmente pela aplicação no *Corn Belt*, região dos Estados Unidos da América (EUA) que abrangia os estados do Iowa, Illinois, Indiana, Michigan, Ohio, Kansas, Minnesota e Missouri, onde o cultivo de milho foi estabelecido. Esta avaliação era feita com recurso ao método de Zingg (1940) que apenas tinha em conta comprimento e declive da vertente.

Smith (1941) adicionou a esta fórmula o fator de conservação dos campos de cultivo e ainda o conceito de um limite específico de perda de solo enquanto Browning *et al.* (1947) adicionaram fatores de gestão dos solos e ainda simplificaram o uso desta equação, através da realização de diversas tabelas que continham indicadores de todos estes fatores.

Em 1946, após um comité nacional que reuniu no Ohio, foi adicionada a precipitação como fator a ter em conta. A fórmula que deste resultou é conhecida como a Equação de Musgrave (1947).

A Equação Universal de Perda do Solo (EUPS) foi desenvolvida pelo *Nacional Runoff and Soil Loss Data Center* em 1954, sendo publicada na íntegra em 1965 no *USDA Agriculture Handbook 282* e republicada com atualizações no *Agriculture Handbook 537* em 1978 (Wischmeier & Smith, 1965 e 1978 respetivamente).

Este é um modelo empírico, baseado na análise regressiva de taxas de perda de solo em parcelas de erosão nos EUA. É um dos métodos mais utilizados internacionalmente, pela sua simplicidade e bons resultados de predição de perda do solo a longo prazo (Wischmeier & Smith, 1978; Desmet & Govers, 1996; ESB, 2001; Panagos, 2015).

Em Portugal, a EUPS também é o método em utilização para a delimitação de áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo, contemplado no Regime Jurídico de Rede Ecológica Nacional (RJREN) – DL nº 239/2012, de 2 de novembro, para Portugal Continental.

Segundo as Orientações metodológicas para a delimitação da Reserva Ecológica na Região Autónoma dos Açores (RAA), este deve ser o método utilizado, até promulgação de diploma próprio, cuja publicação se aguarda desde o Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março.

Este será também um dos métodos explorados neste Relatório de Estágio. Contudo, tendo em conta as falhas de informação de base necessária à aplicação da EUPS, é testada outra abordagem, nomeadamente a metodologia presente no Plano de Gestão de Bacias Hídricas da Ilha do Pico, comumente utilizado para a delimitação da Reserva Ecológica (RE) devido à falta de informação de base.

1.2. OBJETIVOS

Este relatório de estágio tem como principais objetivos:

- I. Comparar o enquadramento legal e orientações estratégicas da RE em Portugal Continental e na Região Autónoma dos Açores (RAA);
- II. Comparar o enquadramento legislativo e metodológico da Reserva Ecológica Regional (RER) entre a primeira geração RE e a atual;
- III. Explorar opções viáveis para o cumprimento da lei da Reserva Ecológica Nacional (REN) no Arquipélago dos Açores, quanto à delimitação de áreas integrantes que deveriam estar sob este regime, no quadro atual de falta de informação geográfica de base;
- IV. Analisar e validar os métodos aplicados atualmente para a delimitação do risco de erosão hídrica do solo, nomeadamente utilizados por municípios e empresas de consultadoria como a Quaternaire;
- V. Criar métodos que permitam a substituição de informação geográfica de base não existente para a área de estudo, de forma a tornar possível a elaboração do

método para a delimitação do risco de erosão hídrica do solo segundo a REN/RER e delimitar este subtema no município da Madalena;

- VI. Avaliar a adequação das atuais orientações estratégicas para delimitação das áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo na área do município da Madalena.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O presente relatório de estágio é estruturado em 8 capítulos:

No primeiro capítulo é feito um enquadramento do tema, dos objetivos e da entidade onde foi realizado o estágio, assim como são apresentados os capítulos e organização do presente relatório.

No segundo capítulo realiza-se a contextualização da evolução da lei da Reserva Ecológica Nacional e da relação entre esta e a Reserva Ecológica Regional.

O terceiro capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre erosão do solo e erosão hídrica do solo.

O quarto capítulo refere-se ao enquadramento e caracterização da área de estudo, onde são focadas partes importantes e necessárias para o desenvolvimento da metodologia da delimitação do risco de erosão hídrica do solo no município da Madalena.

No quinto capítulo são explicadas e aplicadas as metodologias utilizadas, assim como os resultados obtidos e a delimitação deste elemento da RER. Adicionalmente, compara-se a proposta atual com a versão constante no anterior Plano Diretor Municipal, atualmente em revisão.

No capítulo seis são apresentadas algumas considerações finais acerca dos resultados obtidos em cada uma das metodologias, assim como é feita uma reflexão acerca das mesmas e da evolução da delimitação do risco de erosão hídrica do solo no contexto da RER.

O presente relatório termina com as secções dedicadas às referências bibliográficas e anexos.

1.4. QUATERNAIRE – ENTIDADE DE ACOLHIMENTO

A Quaternaire Portugal, Consultoria para o Desenvolvimento S.A., é uma empresa de capitais maioritariamente portugueses, fundada em 1990, que presta serviços diversificados nos domínios da avaliação, da cultura, do emprego, competências e formação profissional, do planeamento e ordenamento do território, do planeamento estratégico e das políticas urbanas.

Organizada em torno de uma abordagem multidisciplinar e integrada ao desenvolvimento de territórios e à capacitação de organizações privadas e públicas, a Quaternaire Portugal privilegia a conceção de soluções à medida das necessidades específicas de clientes e a produção e a difusão de conhecimento estratégico pertinente.

Uma rede de acionistas com experiência profissional e currículo científico prestigiados nacional e internacionalmente e um corpo regular e flexível de consultores externos em domínios de consultoria muito diversificada completam e interagem com uma equipa interna permanente pluridisciplinar e com crescente qualificação.

Com escritórios no Porto - Matosinhos (sede social) e em Lisboa, a empresa apresenta hoje uma presença reconhecida em todo o território nacional (continente e Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira) e uma estratégia de internacionalização em curso há 5 anos com resultados nos mercados de Angola, Cabo Verde e Timor-Leste.

As presentes considerações ou informação adicional sobre a Quaternaire Portugal estão disponíveis no *site* da empresa: <http://www.quaternaire.pt>.

O presente relatório engloba as atividades desenvolvidas no estágio nesta empresa, que decorreu entre outubro de 2015 e abril de 2016, inserido nos trabalhos preparatórios de revisão do Plano Diretor Municipal da Madalena, no sentido da digitalização da delimitação anterior da REN, na delimitação do risco de erosão hídrica

do solo e da recarga de aquíferos, a partir do método apresentado no Plano de Gestão de Bacias Hídricas (PGRH) adaptado à escala do município em trabalho (§ 5.1 a 5.3).

2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO E LEGAL

2.1. RESERVA ECOLÓGICA NACIONAL

A Reserva Ecológica Nacional (REN) é uma das componentes da Rede Fundamental da Conservação da Natureza. As áreas integrantes dentro desta restrição de utilidade pública estão sujeitas a um regime especial quanto à sua ocupação e uso ou transformação, pelo que são previstos usos compatíveis com o objetivo de proteção de recursos naturais e processos biofísicos, diminuindo os riscos inerentes destas áreas vulneráveis. A delimitação das áreas que ficam sujeitas ao regime de REN é um elemento obrigatório na elaboração da proposta dos Planos Diretores Municipais (PDM), segundo o Decreto-lei n.º 239/2012, de 2 de novembro.

A REN foi criada, pelo Decreto-Lei n.º 321/83, de 5 de julho, com vista à conservação de recursos naturais, como a água e o solo, de modo a serem utilizados de forma racional. Era seu intuito salvaguardar “(...) a estrutura biofísica necessária para que se possa realizar a exploração dos recursos e a utilização do território sem que sejam degradadas determinadas circunstâncias e capacidades de que dependem a estabilidade e fertilidade das regiões, bem como a permanência de muitos dos seus valores económicos, sociais e culturais”, estando integrados nestas Reservas o que era designado por Ecossistemas Costeiros e Interiores.

No entanto, após a aplicação pontual da REN e tendo em conta a dificuldade na definição da estrutura biofísica básica, que fosse abrangente o suficiente à proteção dos ecossistemas fundamentais, foi publicado o Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março, alterando o conceito de REN para “(...) estrutura biofísica básica e diversificada que, através do condicionamento à utilização de áreas com características ecológicas específicas, garante a proteção de ecossistemas e a permanência e intensificação dos processos biológicos indispensáveis ao enquadramento equilibrado das actividades humanas.”. Com isto foram integradas na REN as Zonas Costeiras, Zonas Ribeirinhas e Zonas Declivosas.

Enquanto esta esteve em vigor, esta figura legislativa foi sofrendo algumas alterações nomeadamente:

- Decreto-lei n.º 213/92, de 12 de outubro - Obriga a delimitação da REN através dos planos regionais e planos municipais de ordenamento do território; Artigo 21º - Muda o regime anterior que não obrigava a aplicação do regime da REN às Regiões Autónomas até a sua adaptação em diploma próprio, dizendo que este diploma também se deve aplicar “ (...) às Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, sem prejuízo da sua adequação à especificidade regional a introduzir por decreto legislativo regional.”
- Decreto-lei n.º 180/2006, de 6 de setembro - Obriga à delimitação da REN através dos planos especiais e municipais de ordenamento do território; Substitui interdições de ações de iniciativa pública ou privada que se traduzissem em construção de edifícios por “construção e/ou ampliação”; Alterou e republicou o Regime instituído pelo Decreto-lei 93/30, de 19 de março

O novo Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional (RJREN) foi criado com o Decreto-lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, com alterações sofridas nos seguintes documentos:

- Declaração de Retificação n.º 63-B/2008, de 21 de outubro – Retifica o Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, ainda republicando o Anexo II que continha várias inexatidões, e estabelece o RJREN.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro - Aprova as Orientações Estratégicas de âmbito nacional e regional que consolidam as orientações para a delimitação de áreas integradas na REN.
- Decreto-lei n.º 239/2012, de 2 de novembro – Procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, que além de algumas retificações, “elimina a obrigatoriedade dos municípios de procederem à adaptação das delimitações da REN a nível municipal àquelas orientações estratégicas”, mas obriga à delimitação da REN em vigor, segundo as orientações estratégicas de âmbito nacional e regional, para aprovação da revisão dos planos diretores municipais.
- Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro – Retifica a Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro, republicando

integralmente a versão corrigida do diploma. Este é o principal diploma de consulta aquando a delimitação da REN, onde estão explanadas as metodologias a aplicar para cada elemento que desta fazem parte.

- Decreto-lei n.º 96/2013, de 19 de julho – Estabelece o regime jurídico a que estão sujeitas, no território continental, as ações de arborização e rearborização com recurso a espécies florestais. Altera o artigo 20º do Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, com a instituição da não aplicabilidade da disposição constante do n.º 1 do artigo 20º a “ações de arborização e rearborização com espécies florestais, bem como a implantação de infraestruturas no seu âmbito, quando decorrentes de projetos autorizados pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, I.P., ou aprovados pelas entidades competentes no âmbito de programas públicos de apoio ao desenvolvimento florestal, nos termos da lei”
- Decreto-lei n.º 80/2015, de 14 de maio – Aprova a revisão do Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial. Revoga os artigos 28º a 31º do Decreto-Lei nº 166/2008, de 22 de agosto, relacionados com a Comissão Nacional da REN

O RJREN reforça a importância estratégica da REN enquanto regime que atende à função de proteção de recursos, fez a manutenção da natureza jurídica da REN, deixando clara a sua natureza enquanto restrição de utilidade pública e os seus critérios, explicitando ainda a sua relação com outros instrumentos de política de ambiente e de ordenamento do território. Este novo Regime Jurídico veio ainda simplificar os procedimentos de delimitação e gestão assim como identificar os usos e ações compatíveis com cada uma das categorias presentes na REN. Adicionalmente, o conceito de REN é alterado passando a ser definido pela “(...) estrutura biofísica que integra o conjunto das áreas que, pelo valor e sensibilidade ecológicos ou pela exposição e susceptibilidade perante riscos naturais, são objeto de proteção especial” e “(...) que estabelece um conjunto de condicionamentos à ocupação, uso e transformação do solo, identificando os usos e as ações compatíveis com os objetivos desse regime nos vários tipos de áreas”. Embora mantendo a importância do litoral e das áreas ribeirinhas passou-se a realçar de modo claro a importância da REN como elemento legislativo na avaliação e proteção contra alguns riscos naturais, bem como o estabelecimento dos

usos permitidos de modo independente consoante a tipologia de REN. Assim, o novo RJREN considera como parte integrante da REN três grupos temáticos: áreas de proteção do litoral, áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre e áreas de prevenção de riscos naturais (Quadro 1).

Quadro 1 – Áreas integradas em REN segundo o Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, artigo 4.º alínea 2ª

Áreas de proteção do litoral	Áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre	Áreas de prevenção de riscos naturais
<ul style="list-style-type: none"> · Faixa marítima de proteção costeira; · Praias; · Barreiras detríticas; · Tâmbolos; · Sapais; · Ilhéus e rochedos emersos no mar; · Dunas costeiras e dunas fósseis; · Arribas e respetivas faixas de proteção; · Faixa terrestre de proteção costeira; · Águas de transição e respetivos leitos, margens e faixas de proteção. 	<ul style="list-style-type: none"> · Cursos de água e respetivos leitos e margens; · Lagoas e lagos e respetivos leitos, margens e faixas de proteção; · Albufeiras que contribuam para a conectividade e coerência ecológica da REN, bem como os respetivos leitos, margens e faixas de proteção; · Áreas estratégicas de proteção e recarga de aquíferos. 	<ul style="list-style-type: none"> · Zonas adjacentes; · Zonas ameaçadas pelo mar; · Zonas ameaçadas pelas cheias; · Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo; · Áreas de instabilidade de vertentes

(Redação dada pelo Decreto-Lei n.º 239/2012)

Surgiram ainda dois documentos importantes no quadro da REN: as Orientações Metodológicas para a delimitação da Reserva Ecológica – Plano Diretor Municipal (RE-PDM) da Região Autónoma dos Açores, publicado pela Secretaria Regional da Agricultura e Ambiente, Direção Regional do Ambiente, em fevereiro de 2015 (DRA, 2015), e ainda o Guia Metodológico para a Delimitação da Reserva Ecológica Nacional, publicado pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo, Direção de Serviços de Ordenamento do Território, em junho do mesmo ano (CCDR-LVT, 2015).

Estes Guias mostram como devem ser aplicadas as metodologias e critérios de delimitação da REN segundo o quadro legislativo atual, que, no caso dos Açores se mostra ainda de maior importância pois este território continua sem diploma próprio que se adegue às especificidades deste território.

2.2. RESERVA ECOLÓGICA APLICADA À REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES

Inicialmente, de acordo com o Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março, nomeadamente segundo o artigo 21º, a aplicação da REN nas Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores “ (...) depende de diploma das respetivas assembleias legislativas regionais que adapte os seus princípios às condições locais.”. Assim, apesar da obrigação dos PDM incluírem a delimitação da REN após o Decreto-lei n.º 213/92, de 12 de outubro, não havia orientações ou diploma próprio, que procedesse à adaptação dos critérios da REN às especificidades da Região Autónoma dos Açores (RAA), resultando na adaptação feita “isoladamente” por cada município.

Neste contexto, as delimitações da Reserva Ecológica na RAA eram realizadas com base em metodologias próprias, adotadas por cada município individualmente, sem qualquer homogeneidade de critérios intermunicipal, resultando em descontinuidade de áreas consideradas RE em municípios contíguos. Mesmo com o novo RJREN, o artigo 46º refere que esta delimitação deve ser adequada à especificidade regional, mencionando ainda que esta deve seguir um decreto legislativo regional, que, até à data, não existe.

Devido a estes problemas, numa tentativa de uniformização de critérios a aplicar na região, foi criado pela Secretaria Regional da Agricultura e Ambiente, parte integrante da Direção Regional do Ambiente, as Orientações Metodológicas a seguir para a delimitação da Reserva Ecológica na RAA, com publicação a fevereiro de 2015, data à qual a maioria dos PDM da Região se encontra em revisão ou mesmo sem revisão iniciada.

3. EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

3.1. EROSÃO DO SOLO

Pode definir-se solo como “o corpo natural, diferenciado por horizontes de minerais e constituintes orgânicos, normalmente não consolidados, de profundidade variável, que difere do material de origem, nomeadamente, a morfologia, as propriedades físicas e constituição, as propriedades químicas e composição e as características biológicas” (Jenny, 1994: 1), ou de forma mais simplista, como a camada mais superficial da crosta da terra, que suporta a vida terrestre (Lal & Shukla, 2004). Já a *Soil Science Society of America* (SSSA), definiu solo como o conjunto de materiais não consolidados existentes à superfície da Terra e resultante da ação cumulativa dos fatores envolvidos na sua formação: clima, relevo, rocha mãe, organismos e tempo. É constituído principalmente por matéria mineral sólida e matéria orgânica e possui proporções variáveis de água com substâncias dissolvidas (solução do solo) e de ar (atmosfera do solo) (SSSA, 1996).

Segundo Morgan (1985), a erosão do solo é uma forma extrema de degradação do solo, nos quais os processos geomorfológicos são acelerados, e o solo é removido a um ritmo dez vezes superior ao que ocorreria em condições naturais, e muito mais superior ao ritmo de reposição de novo solo.

De facto, a formação do solo é um processo extremamente lento, podendo este ser considerado um recurso não renovável (CEC, 2006). Assim, quando se fala de erosão do solo enquanto uma ameaça, refere-se à erosão do solo enquanto resultado da atividade antropogénica que causa a deterioração ou perda de solo ou de uma ou mais das suas funções (Jones *et al.*, 2008), a um ritmo superior ao que este se pode reconstituir. Assim, considera-se que a erosão do solo ocorre quando há uma redução da quantidade de solo a uma taxa superior à que está a ser reposta sob condições naturais (CEC, 2006).

A erosão do solo ocorre principalmente devido à perda de capacidade de absorver e armazenar água (Imenson & Curfs, s.d.).

Segundo Morgan (2005), os fatores que influenciam o ritmo de erosão do solo podem ser considerados em três grandes grupos: Energia, Resistência e Proteção (Figura 1),

sendo, em condições naturais, as taxas anuais de perda de solo na ordem de 0,0045 t ha⁻¹, para as áreas de moderado relevo, e 0,45 t ha⁻¹ para o relevo acentuado.

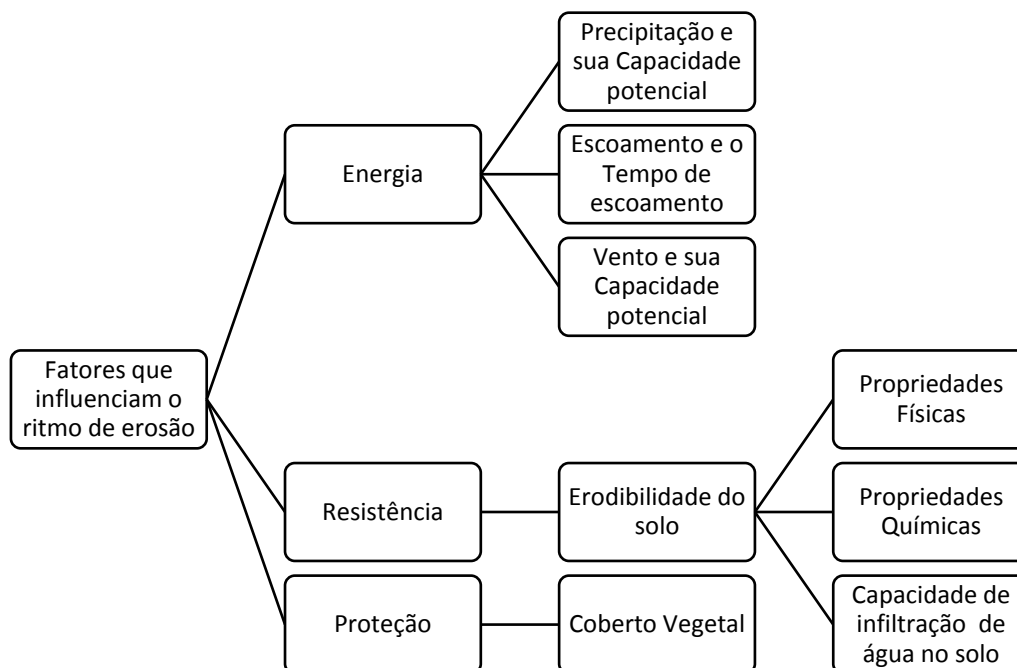


Figura 1 - Fatores que influenciam o ritmo de erosão do solo (Baseado em Morgan, 1986)

A erosão do solo é um processo que se subdivide em vários grupos, reduzindo-se essencialmente em erosão Eólica e Hídrica (Imenson & Curfs, s.d.). Segundo Morgan (2005), este tipo de degradação do solo é um processo de duas fases. Uma primeira fase consiste na desagregação de partículas individuais de solo e a segunda no transporte pelos agentes erosivos, como a água ou o vento. Quando esta energia deixa de estar disponível, dá-se uma terceira fase de deposição das partículas.

A erosão do solo é assim um problema tanto económico como ambiental. A erosão hídrica do solo tornou-se um ponto na agenda da União Europeia devido aos seus impactes, nomeadamente na produção de comida, qualidade da água potável, serviços do ecossistema, inundações com elevada carga de sedimentos, eutrofização, biodiversidade e diminuição do armazenamento de carbono (Panagos *et al.*, 2015). Todos estes problemas ambientais também resultam num maior gasto económico para a reabilitação de campos agrícolas, de armazenamento de águas poluídas ou reestruturação de projetos de infraestruturas que se tornam impossíveis de realizar devido aos impactes da erosão hídrica do solo (Morgan, 1986).

3.2. EROÇÃO HÍDRICA

Há vários tipos de erosão hídrica do solo: Erosão de *Splash*, Erosão laminar, Erosão em sulcos, Erosão de barrancos e Erosão em túnel (*e.g.*, Imerson & Curfs, s.d.).

Assim, segundo Imerson & Curfs (s.d.) os tipos de erosão hídrica do solo podem ser definidos como:

- Erosão em *Splash* ocorre quando as partículas de solo sofrem um destacamento e um movimento pelo ar aquando do impacto das gotas da chuva no solo, geralmente em solo exposto, podendo as partículas de solo ser destacadas pelo ar a distâncias consideráveis de vários centímetros. Morgan (1986) considera este o agente de destacamento mais importante.
- Erosão laminar como a remoção de uma fina camada de solo com características relativamente uniformes pela chuva e escorrência superficial generalizada e não canalizada. Resulta na remoção de pequenas partículas que contêm os nutrientes e matéria orgânica mais ricos.
- Erosão em sulcos é um processo de erosão em locais com algum declive, onde se formam canais com alguns centímetros de profundidade. Desenvolvem-se quando a água se concentra em depressões ou locais mais baixos, erodindo o solo. É comum este ser descrito como o estágio de erosão entre a erosão laminar e a erosão em ravinas.
- Erosão em ravinas é o processo de erosão onde a água se acumula e origina por entalhe canais estreitos. Têm geralmente mais de 30 cm de profundidade, o que distingue da erosão em sulcos.
- Erosão em túnel ocorre em solos propensos a *piping*. Estes são frequentes em solos que contêm camadas ricas em argila, devido às suas propriedades de encolher e expandir quando em contacto com a humidade. O túnel começa quando a água se infiltra entre os espaços e canais do solo. Quando o canal se expande, o seu tecto e paredes laterais colapsam, sendo que as argilas mais solúveis são as primeiras a ser removidas pelo escoamento.

Há vários modelos para a avaliação da Erosão hídrica do solo. Destes, pode-se enumerar alguns como a USLE (Wischmeier & Smith, 1978), EPIC (Williams *et al.*, 1983),

GLEAMS & CREAMS (Knisel *et al.*, 1991), RUSLE (Renard *et al.*, 1991), MIKE-SHE (Refsgaard & Storm, 1995), KINEROS2 (Smith *et al.*, 1995), LISEM (De Roo *et al.*, 1996), EUROSEM (Morgan *et al.*, 1998), TOPMODEL (Beven & Freer, 2001), WEPP (Flanagan *et al.*, 2001), PESERA (Kirkby *et al.*, 2003).

O método considerado neste relatório de estágio é a USLE (Universal Soil Loss Equation), ou em português, EUPS (Equação Universal de Perda de Solo) uma vez que é este o que é indicado pelos instrumentos legislativos regulamentadores da RE. Segundo Panagos *et al.*, (2015), este é o modelo mais comum para a medição da erosão do solo. A EUPS é também o método utilizado em Portugal Continental, no âmbito da lei da REN, pelo que será abordado de forma mais aprofundada e aplicado no capítulo 5.

Foi ainda explorada a hipótese de aplicação do modelo PESERA, uma vez que é um dos modelos aplicados na União Europeia. No entanto, após análise dos componentes que deste fazem parte, concluiu-se não haver dados de base suficientes para a aplicação do mesmo, e a abrangência da aplicação deste modelo à escala europeia não abrange as Regiões Autónomas. Foram estabelecidos contactos com os membros envolvidos neste projeto da União Europeia, obtendo resposta numa primeira instância, mas sem indicação de quando haverá o modelo disponível para a aplicação nas Regiões Autónomas.

4. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. LOCALIZAÇÃO

O Arquipélago dos Açores (Portugal) situa-se no Atlântico Norte, e é constituído por nove ilhas, divididas por três grupos geográficos: o Grupo Oriental composto por Santa Maria e São Miguel; o Grupo Central composto pelas ilhas da Terceira, Graciosa, São Jorge, Pico e Faial; e o Grupo Ocidental composto pelas ilhas Corvo e Flores. Este localiza-se entre as latitudes 36°55' N e 39°43' N e as longitudes 24°46' W e 31°16' W (Figura 2).



Figura 2 - Enquadramento geográfico do Arquipélago dos Açores

A Ilha do Pico situa-se no Grupo Central do Arquipélago dos Açores, sendo esta a ilha mais a sul do grupo, situa-se entre 38°22'54''N e 38°34'41''N de latitude e 28°01'44''W e 28°32'37''W de longitude. Com um comprimento de costa de cerca de 117 km, a ilha apresenta uma forma alongada, tendo cerca de 46 km de comprimento máximo (Ponta do Areeiro – Ponta da Ilha) e 16 km de largura (Ponta Negra – Lage do Cavalo), perfazendo uma área total de cerca de 447 km², sendo a segunda maior ilha do Arquipélago. Em termos administrativos está dividida em três municípios: Lajes do Pico a sul e sudeste; Madalena a oeste; e São Roque do Pico a norte (Figura 3).

O município da Madalena localiza-se no extremo ocidental da ilha do Pico, tem uma área aproximada de 149 km², sendo constituído por seis freguesias: Bandeiras, Candelária, Criação Velha, Madalena, São Caetano e São Mateus.

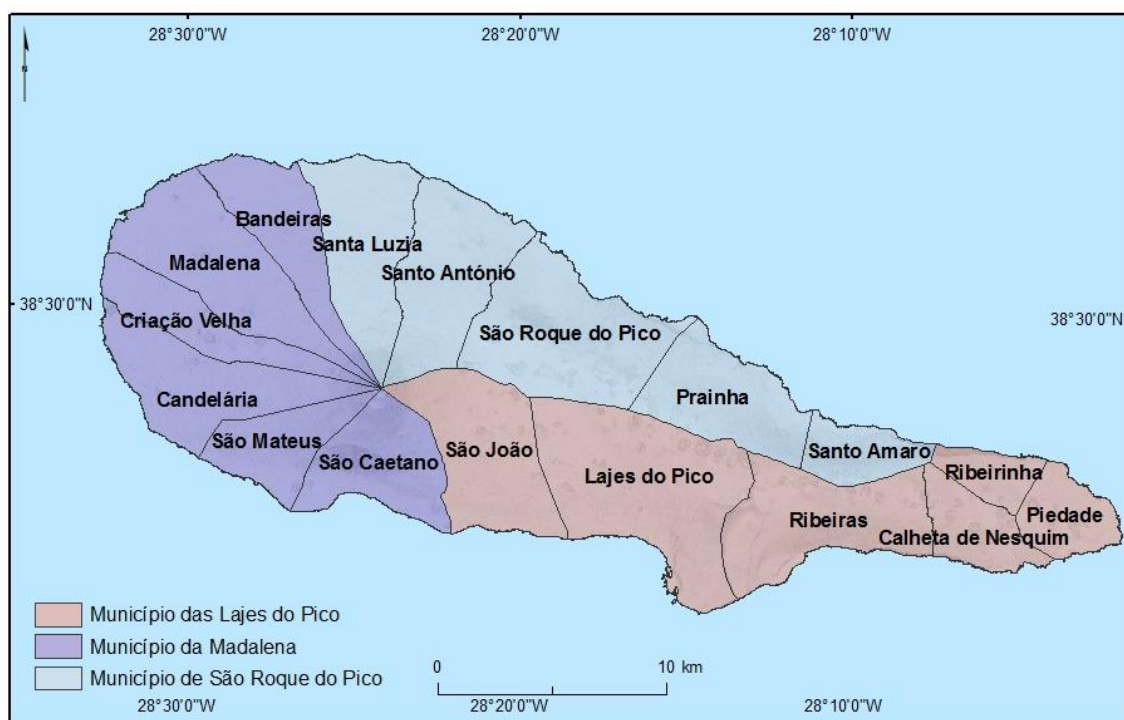


Figura 3 – Municípios e Freguesias da ilha do Pico

Em termos demográficos, à data do Censos de 2011, o município da Madalena tinha 6049 residentes, sendo a freguesia da Madalena a mais populosa, com 2581 indivíduos em contraste com a freguesia de São Caetano que só apresentava 480 indivíduos residentes (Quadro 2). Em termos de densidade populacional verifica-se que a freguesia da Madalena também apresenta os valores mais elevados (78 habitantes/km²), ainda podendo salientar a densidade populacional de freguesias como Criação Velha e São Mateus, com valores acima da média do município. A freguesia de São Caetano apresenta os valores mais baixos com cerca de 20 habitantes/km² (Quadro 2).

Quadro 2 - População residente e densidade populacional por freguesia do Município da Madalena (2011)

Freguesia de residência	População residente (N.º)	% Distribuição por freguesia	Densidade populacional (habitantes/km²)	Área da freguesia (km²)
Bandeiras	626	10,35	24	25,92
Candelária	822	13,59	26	31,72
Criação Velha	768	12,70	47	16,39
Madalena	2581	42,67	78	32,95
São Caetano	480	7,94	20	24,36
São Mateus	772	12,76	44	17,74
Total Município Madalena	6049		41	149,08

Fonte: Censos 2011

4.2. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A Ilha do Pico situa-se próxima da cordilheira médio-atlântica e no cruzamento desta com a fratura Gibraltar-Açores, onde três placas tectónicas se cruzam: americana, euroasiática e africana. Assim, a formação desta ilha tem como origem fenómenos de geodinâmica interna, nomeadamente erupções vulcânicas e atividade sísmica.

Esta é das ilhas mais recentes do Arquipélago, com uma idade de formação entre 300.000 e 40.000 anos, segundo autores como Machado (1956), Feraud (1977), Feraud *et al.* (1980), Chovelon (1982) Baubron *et al.* (1991), e Cruz (1995).

Esta ilha de origem vulcânica, que terá emergido sob forma de vulcão em escudo (Nunes, 1999), dando origem à Montanha do Topo, onde se regista a elevação máxima, ainda apresenta vulcanismo do tipo fissural na parte Este do Pico (Madeira, 1998; Nunes 1999), principal causador dos cones de escória desta parte da ilha.

Segundo Nunes (1999), o tipo de vulcanismo desta ilha apresenta baixos índices de explosividade, do tipo estromboliano e/ou hawaiano, com fases efusivas predominantes.

De acordo com a classificação do *Catalogue of the Active Volcanoes of the Atlantic Ocean* (1967) consideram-se como ativos, isto é, em erupção ou com potencial para entrar em erupção, dois vulcões: o Vulcão do Pico e o Sistema Vulcânico Fissural do Pico.

Segundo Nunes (1998), na Ilha do Pico há registos de três erupções históricas, que originaram os Mistérios da Prainha (1562/1564), Santa Luzia (1718) e São João (1718) e Silveira (1720).

Nesta ilha é de destacar o cone vulcânico conhecido pela montanha do Pico, que atingindo os 2351 m de altitude, é o ponto mais elevado de Portugal. A ilha do Pico pode ser dividida em duas grandes unidades geomorfológicas (segundo Zbyszewski, 1963a, b): a Montanha do Pico e as suas dependências a Oeste, e o Planalto da Achada a Este, sendo que o município da Madalena está incluído na primeira unidade.

A Figura 4 mostra dois perfis topográficos da Ilha do Pico. Ambos os perfis topográficos mostram a imponência da montanha do Pico. A análise com direção ONO-ESE, mostra a rápida progressão da altitude do lado oeste, especialmente a partir dos 800 metros de altitude. Pode-se reparar que do lado oeste da montanha se notam rugosidades que correspondem aos vários cones secundários presentes na Carta Geológica (Zbyszewski, 1963a). Na morfologia do topo da montanha, destaca-se a forma do cone do Piquinho, o ponto mais alto. Segundo Nunes (1999) esta morfologia teve como origem a formação de um cone lávico, que se elevou acima do fundo da cratera da montanha. Este autor evidencia o corte que o Piquinho apresenta na sua vertente Oeste originada por uma fissura eruptiva pós-Piquinho, evento eruptivo que poderá ter também originado a Lomba de São Mateus.

A Este da Montanha destaca-se o Planalto da Achada, que se estende desde a Montanha do Pico até à extremidade oriental da Ilha. Este trata-se de um antigo complexo vulcânico, que hoje não apresenta grande expressão topográfica devido ao elevado grau de erosão. Segundo Nunes (1999), deste complexo vulcânico fazem parte 170 cones vulcânicos. Esta é considerada por investigadores como Zbyszewski (1963a, b), como a unidade mais antiga da Ilha, a que se sobrepõem outros materiais emitidos pelo complexo vulcânico do Planalto da Achada e pela Montanha do Pico.

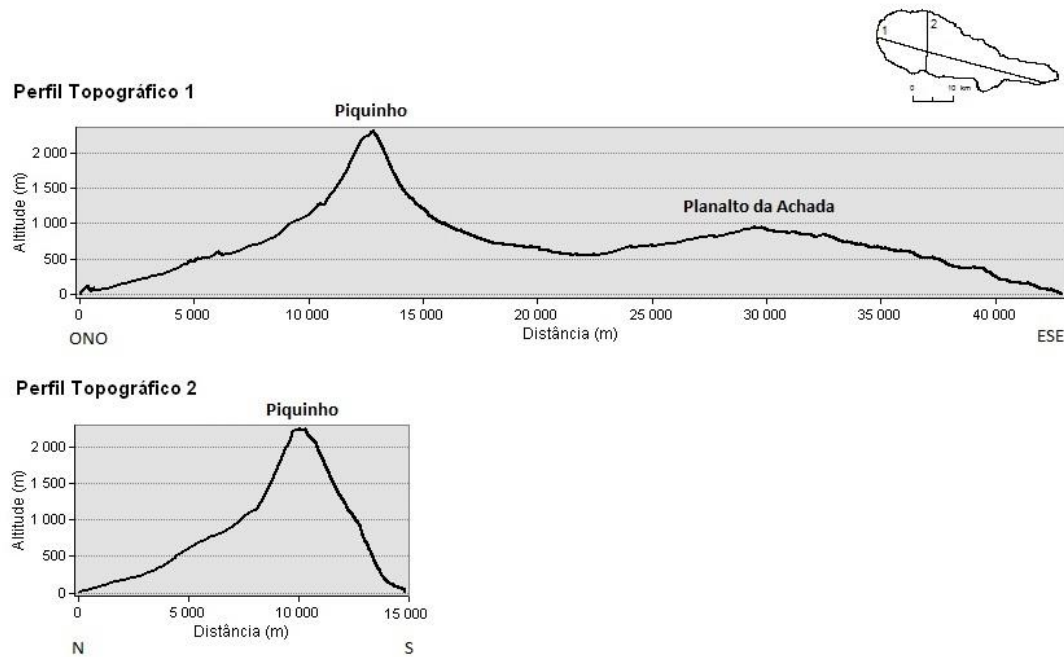


Figura 4 - Perfis topográficos da ilha do Pico

Fonte: Altimetria Carta Militar de Portugal (1:25 000) Centro de Informação Geoespacial do Exército (IGeoE)

Assim, o município da Madalena apresenta declive médio de 12° sendo a classe de declive mais representativa a que engloba valores de 5 a 10° (Figura 5). Destaca-se a Montanha do Pico, que apresenta no seu flanco sul declives na ordem dos 25° e superiores, valores mais acentuados do que o flanco norte. Ao nível da faixa litoral, encontram-se tanto arribas com declives mais acentuados ($> 15^\circ$) como praias, com a existência de baías, enseadas e campos de lava que se estendem até à costa, onde dominam declives menores ($< 10^\circ$). No território da Madalena, segundo Costa (1997), as arribas são essencialmente baixas (troço Lajido-Cabrito), havendo ainda praias com um declive suave que se estende até ao mar (Criação Velha).

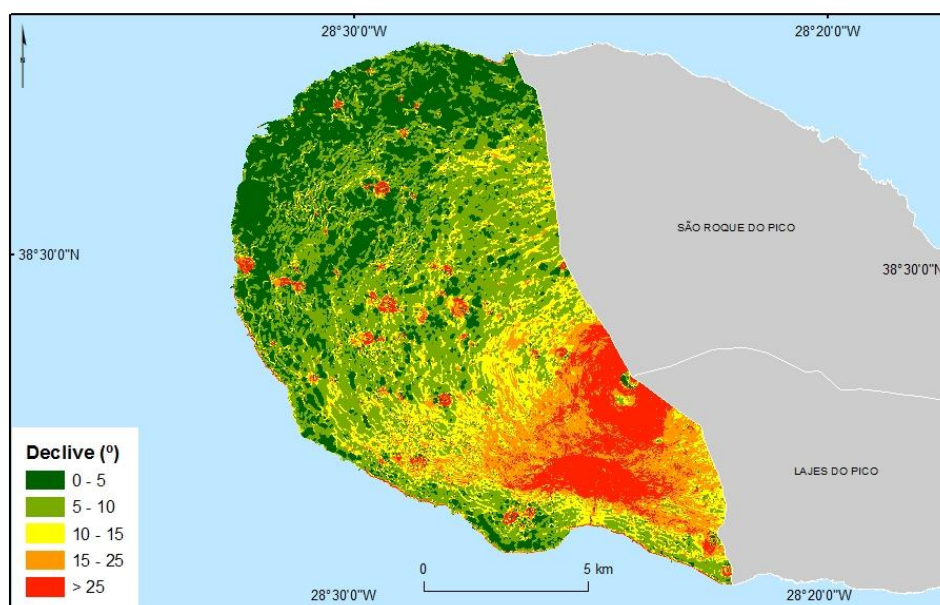


Figura 5 - Distribuição espacial do declive no município da Madalena

Fonte: Altimetria, Carta Militar de Portugal (1:25 000), Centro de Informação Geoespacial do Exército (IGeoE)

O município da Madalena, segundo a carta Geológica de Portugal (1:50 000, folha “A” da ilha do Pico (Açores), é composto por rochas vulcânicas, como os Basaltos e Andesitos, e por depósitos de escórias, dejeção torrencial e formações de vertente (Figura 6). As formações basálticas são claramente a unidade litológica dominante, com presença em 93 % do município da Madalena. Segundo Zbyszewski (1963), estes basaltos são maioritariamente constituídos por fenocristais de plagioclase, bytonite, olivina e com a presença de augite em alguns locais. Os Andesitos no município da Madalena estão presentes na vertente Norte da Montanha do Pico, representando 2 % do território. Estes têm origem numa erupção de 1718 que formou o “Mistério de Santa Luzia”. Segundo Zbyszewski (1963a), estes são constituídos por horneblenda castanha, plagioclase labrador e cristais menores de augite, olivina e magnetite.

Podemos identificar Cones de escórias com presença de crateras vulcânicas, espalhados pelo território, representando um total de 3 % da superfície do município da Madalena. Estes são constituídos por escórias, blocos e bombas vulcânicas assim como as suas crateras.

Há ainda a presença de formações de vertentes (1 %), nomeadamente na vertente sul da Montanha do Pico. Esta é a vertente mais declivosa, pelo que estas formações de vertente provêm dos desabamentos com origem na caldeira do Pico.

Por fim, ainda há a presença de dejeções torrenciais a sul que, segundo Zbyszewski (1963a), são “formações piroclásticas, intercalações conglomeráticas de origem torrencial”.

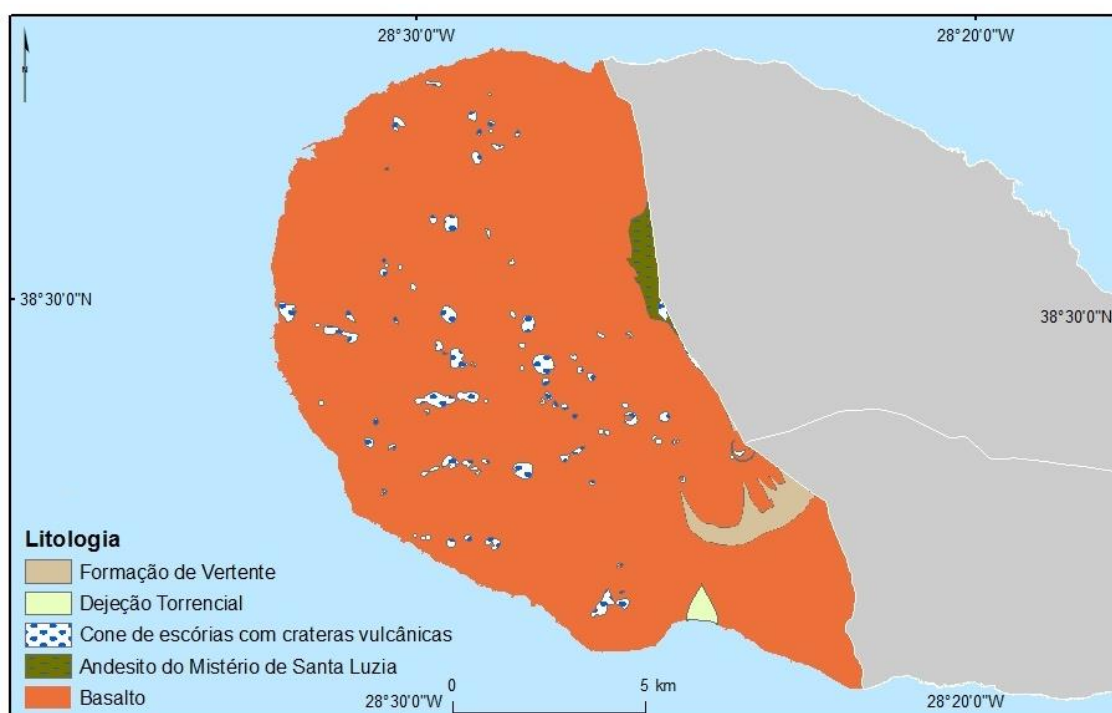


Figura 6 - Litologia simplificada no município da Madalena

Fonte: Carta Geológica de Portugal (1:50 000), Serviços Geológicos de Portugal

Na Figura 7 pode observar-se que no município da Madalena predomina a incidência de falhas prováveis de orientação geral WNW-ESE e NNW-SSE, com algumas exceções e orientação de NE-SW. Segundo Nunes (1999), o grupo de falhas com direção WNW-ESE e NNW-SSE, está relacionado com a direção da própria Zona de Fratura Faial-Pico.

Já as falhas de direção NE-SW estão maioritariamente relacionadas com o vulcão da Montanha do Pico, defendendo o referido autor que este teve origem na migração progressiva para NNE dos centros eruptivos localizados no topo da Montanha.

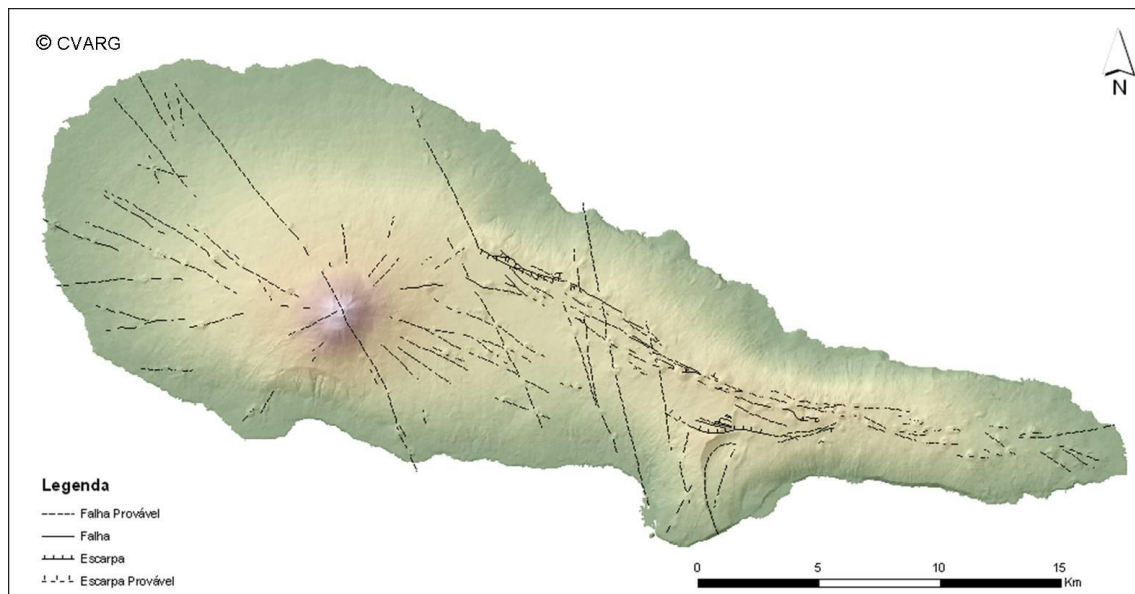


Figura 7 - Estruturas tectónicas na ilha do Pico

Fonte: Extraída de Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos

4.3. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

O Grupo Central do Arquipélago dos Açores apresenta um clima temperado oceânico, em que há uma regulação térmica criada pelo oceano, resultando numa fraca amplitude (Madruga, 2015). No entanto, a posição diagonal de distribuição das ilhas do Arquipélago, resulta numa classificação de Köppen de Cs a Cf, ou seja, num clima com as estações de Verão e Inverno bem definidas, com uma temperatura média do ar dos 3 meses mais frios entre 0°C e 18°C, onde no caso da classificação Cs ocorrem chuvas de Inverno, sendo seco durante o Verão (setor exposto a sul), e no caso da classificação Cf não há estações secas, ocorrendo precipitação em todos os meses do ano (setor exposto a norte).

A ilha do Pico é caracterizada por precipitação regular ao longo de todo o ano, sendo esta mais frequente quanto maior a altitude e distância à costa (Cruz, 1995), elevada humidade relativa do ar, nebulosidade frequente no verão, devido à influência do sistema de circulação de ar e da montanha, e frequentes ventos fortes (Nunes, 1999). A possibilidade de presença de neve em altitudes acima dos 1500 m, usualmente entre

janeiro e março, sendo esta persistente durante mais tempo a partir das cotas de 2000 m (Cruz, 1995), é outro fator de realce.

Consideram-se que os dados disponíveis para fazer uma caracterização climatológica do município da Madalena são escassos, não sendo suficientes para uma série de 30 anos completas, como recomendado pela Organização Meteorológica Mundial. Esta caracterização baseia-se nos dados obtidos nas “estações” presentes na Figura 8, nomeadamente: os postos udométricos de Bandeiras (BAN, 120 m de altitude) e da Madalena (MAD, 15 m de altitude) para a precipitação, e a estação meteorológica de São Caetano (SC, 600 m de altitude), para a temperatura. As estações utilizadas para a caracterização da precipitação apresentavam várias lacunas. A metodologia para a resolução destas é desenvolvida no capítulo dedicado ao fator da erosividade da precipitação.

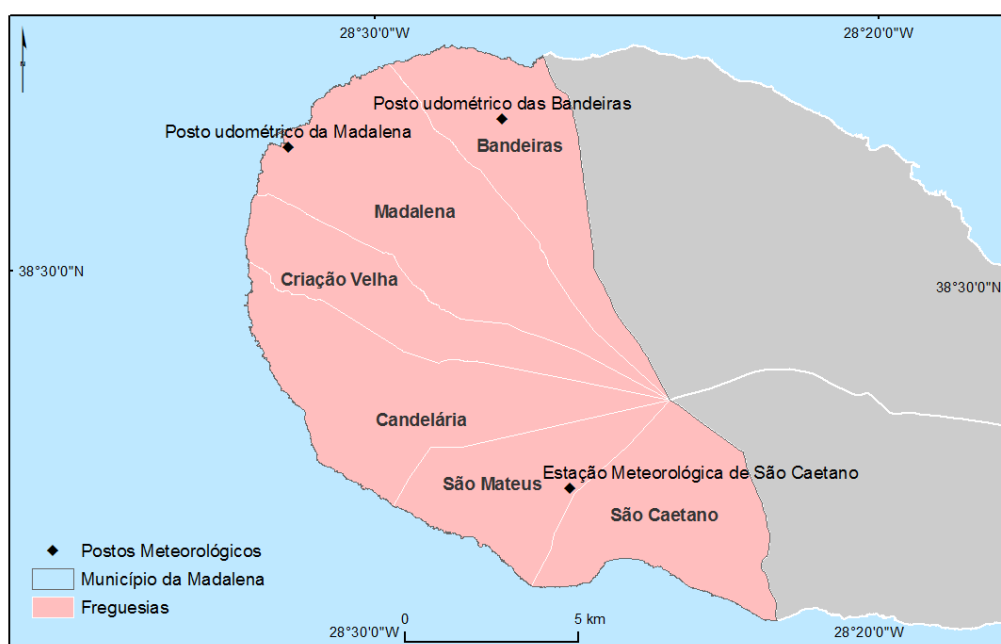


Figura 8 - Estações climatológicas no município da Madalena

Com a análise de dados de precipitação média mensal registados entre os 1958 e 1986 nos Postos Udométricos da Madalena e de Bandeiras (Figura 9 e Figura 10), pode claramente perceber-se a diferença de precipitação entre os meses de verão e os restantes. Contudo, a precipitação é um elemento constante ao longo do ano, não existindo meses sem precipitação, sendo o período mais baixo registado em julho (na

Madalena 34 mm e em Bandeiras 60 mm), e média mensal máxima na Madalena em janeiro e em Bandeiras em dezembro, com valores que atingem os 129 mm e 259 mm respectivamente. A precipitação média registada no Posto Udométrico da Madalena é de 87 mm enquanto no Posto Udométrico de Bandeiras é de 160 mm.

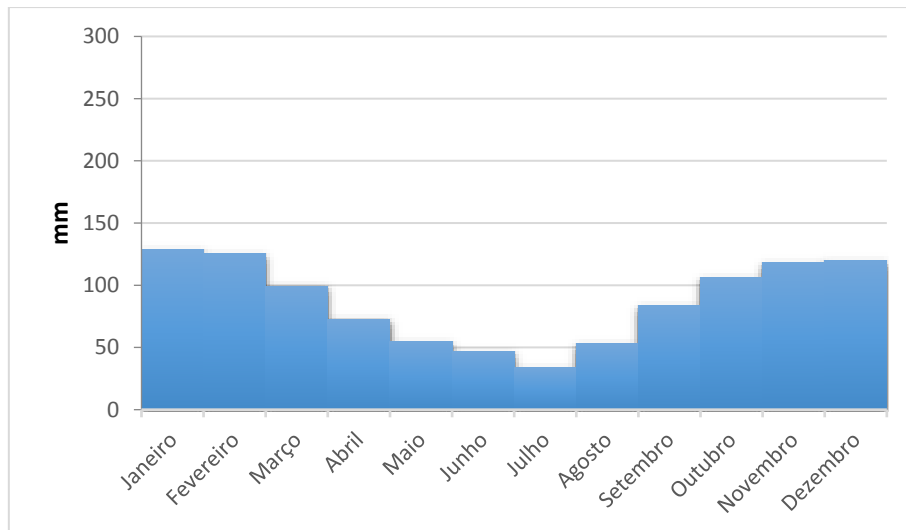


Figura 9 - Precipitação média mensal, posto udométrico da Madalena (15 m altitude): 1958-1986

Fonte: Serviço Meteorológico Nacional e Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

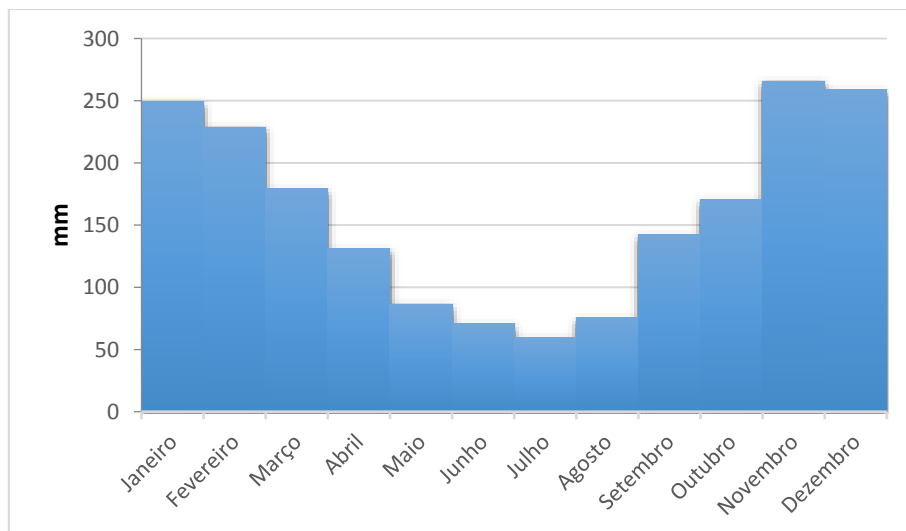


Figura 10 - Precipitação média anual, posto udométrico de Bandeiras (120 m altitude): 1958-1986

Fonte: Serviço Meteorológico Nacional e Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

Para a análise da temperatura foram utilizados dados da estação meteorológica de São Caetano, localizada na vertente sul da ilha (Figura 8), a 600 metros de altitude, havendo apenas dados que remontam ao ano de 2013. No entanto, não é considerado um problema, tendo em conta o efeito regulador do oceano referido anteriormente, não se esperam que os dados de 2013-2015 tenham grandes diferenças ao nível de temperatura aquando comparado com outros anos.

Na Figura 11 pode-se observar a temperatura média mensal e as temperaturas máximas, mínimas registadas em cada mês. A temperatura média anual é de 12 °C. As temperaturas médias mensais máximas registadas acontecem entre julho e outubro, sendo que em agosto se verifica a média mensal mais elevada de 15 °C. Os meses mais frios são entre novembro a abril, em que as temperaturas máximas registadas não ultrapassam os 16 °C. As temperaturas máximas mais baixas registadas são em janeiro, março e abril, com 15 °C de máxima e temperaturas mínimas na ordem dos 3 °C.

A amplitude máxima de temperatura é de 15 °C, que regista a amplitude entre temperaturas máximas e mínimas, verifica-se em novembro. As amplitudes registadas entre as temperaturas máximas e mínimas mensais variam entre 12 °C a 15 °C, mostrando uma amplitude com baixa variação.

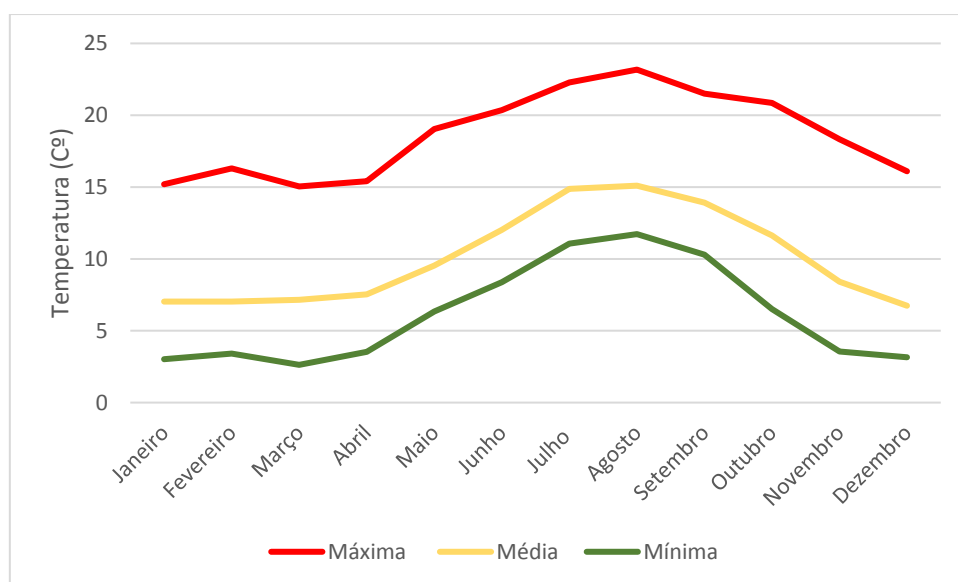


Figura 11 - Distribuição Anual das temperaturas média mensal, máxima e mínimas registadas em São Caetano (600 m altitude): 2013-2015

Fonte: Serviço Meteorológico Nacional e Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

Ainda que reconhecendo que estes dados são muitos escassos para a caracterização da temperatura de um local, pelo diminuto período de dados, para que fosse possível o desenvolvimento do modelo no capítulo 5.4.2. foi necessária a sua utilização. De facto, devido ao fator de temperatura ser contemplado no modelo CIELO, e à falta de partilha de informação em bruto, requerida aos seus autores, optou-se por utilizar, ainda que consciente da possível falta de representatividade, os dados disponíveis.

4.4. CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A análise da Figura 12, que apresenta as principais linhas de água no município da Madalena, permite perceber de imediato a clara diferença entre o flanco ocidental, correspondente ao município da Madalena, e oriental da montanha do Pico. Assim, o flanco oeste apresenta uma rede hidrográfica mais simples e de menor densidade. Este facto deve-se a este flanco corresponder ao lado mais recente da ilha do Pico, onde a permeabilidade superficial é mais elevada devido à sua natureza geológica e menor tempo evolutivo (Nunes, 1998).

No município da Madalena destacam-se sete ribeiras: Ribeira Nova, Ribeira Joanes, Ribeira Grande, Ribeira dos Biscoitos, Ribeira das Grotas, Ribeira da Praínha e Ribeira da Calheta. Segundo a classificação de Strahler (1952), estas são de baixa hierarquia não havendo troços acima da 3ª ordem (Ribeira dos Biscoitos), sendo então segundo o mesmo autor consideradas microbacias.

Segundo Nunes (1999), o município da Madalena, apresenta uma densidade de drenagem fraca na maior parte do município, havendo densidades de drenagem na ordem de 0,18 km/km² até 1,26 km/km² (Quadro 3). A análise destes valores mostra que a densidade de drenagem é nula em freguesias como em Candelária e Madalena. Os valores de densidade de drenagem baixos devem-se à litologia, que é predominantemente constituída por escoadas lávicas muito recentes e depósitos piroclásticos subaéreos com a presença de cones escórias, o que constitui uma camada superficial muito permeável, não proporcionando escoamento superficial.

Quadro 3- Valores de densidade de para as bacias hidrográficas da ilha do Pico

Código Bacia	Nome Bacia	Densidade de drenagem (km/km ²)	Ribeiras	Freguesias
PIA17	Bacias Agregadas	0,27	Ribeira Nova	São Caetano
PIA18	Bacias Agregadas	0,66	Ribeira dos Biscoitos	São Caetano
PIA19	Bacias Agregadas	1,26	Ribeira Joanes Ribeira Grande	São Caetano
PIA35	Bacias Agregadas	0,52	Ribeira dos Bodes	São Caetano São Mateus
PIA36	Bacias Agregadas	0,11	Ribeira das Grotas	São Mateus Candelária
PIA37	Bacias Agregadas	0,26	Nome desconhecido	Bandeiras
PIA38	Bacias Agregadas	0	Nome desconhecido	Bandeiras Madalena
PIA39	Bacias Agregadas	0,18	Nome desconhecido	Bandeiras Madalena
PIA40	Bacias Agregadas	0,26	Nome desconhecido	Candelária Criação Velha
PIB41	Bacias Agregadas	0		Madalena
PIB42	Bacias Agregadas	0		Criação Velha Candelária
PIB19	Ribeira Joanes	1,01	Ribeira Joanes	São Caetano
PIB5	Nome Desconhecido	0,84	Nome desconhecido	Madalena

Fonte: Direção de Serviços de Recursos Hídricos e Ordenamento do Território (DSRHOT)

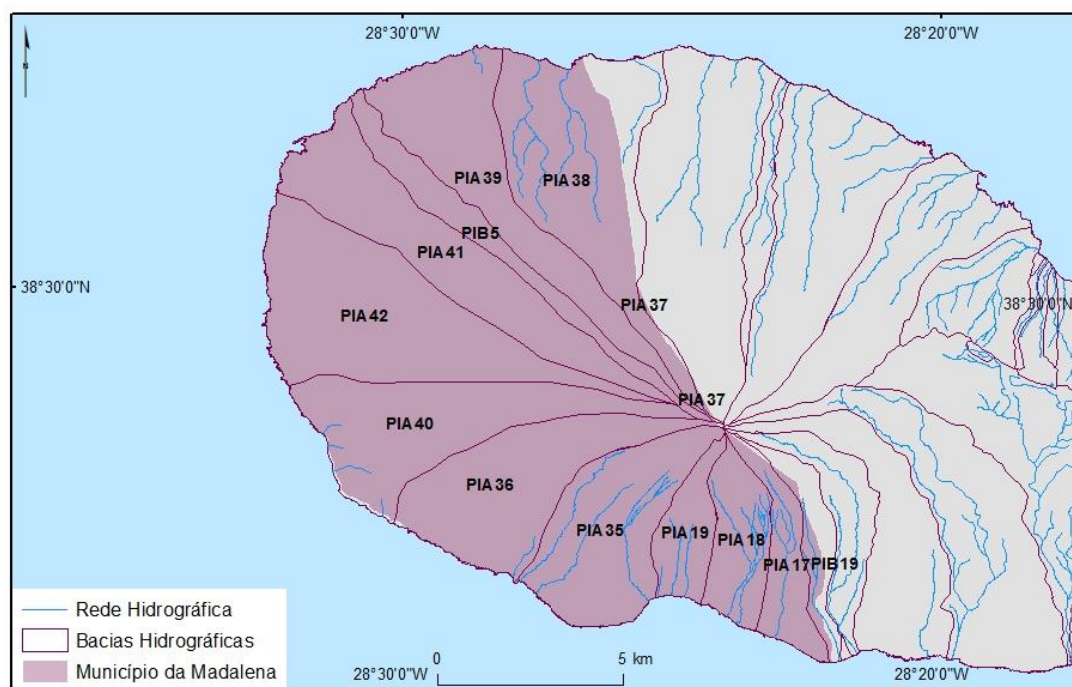


Figura 12 – Hidrografia do município da Madalena

Códigos: Ver Quadro 3. Fonte: Direção de Serviços de Recursos Hídricos e Ordenamento do Território (DSRHOT)

Nunes (1999) refere ainda a possibilidade de haver um escoamento criptorreíco, isto é, com a presença de rios subterrâneos formados através da infiltração de águas em materiais permeáveis, como as formações lávicas recentes, havendo ainda provas de alguns cursos de água de escoamento superficial que a jusante passa a escoamento subterrâneo.

4.5. CARACTERIZAÇÃO DO USO DO SOLO, PAISAGEM E VEGETAÇÃO

No município da Madalena, como se pode observar na Figura 13, destaca-se a importância dos Espaços Florestais (36 %), das Pastagens (34 %) e dos Espaços Agrícolas (13 %). A distribuição destes no espaço é comum a outras ilhas, onde os Espaços Agrícolas se apresentam mais perto da costa, onde o declive é menor e o acesso mais fácil, formando uma coroa interior de Espaços Florestais e uma outra coroa de Pastagens. Este elevado uso do solo dedicado a atividades agropecuárias (83 %) refletem a importância destas para o território da Madalena.

Os Espaços de Vegetação Natural (11 %), isto é, vegetação endémica e Matos, estão presentes em torno da Montanha do Pico, onde o declive e condições climáticas já não permitem outras atividades.

O espaço urbano e industrial ocupa apenas 4 % do território, estando espacialmente presente na faixa litoral e com distribuição ao longo das vias de comunicação, indo ao encontro do modelo de “proto-ilha” (Figura 14) proposto pelo Plano Regional de Ordenamento do Território dos Açores (PROTA) para definir organização territorial típica de uma ilha vulcânica.

Ainda podemos salientar a presença de incultos no topo da Montanha do Pico, representando 1% da ocupação do solo, que o relatório da Carta de Ocupação do Solo – Região Autónoma dos Açores (2007), corresponde a zonas de derrames lávicos recentes. As Áreas Descobertas (1 %) correspondem à Rocha-nua presente no topo da Montanha do Pico.

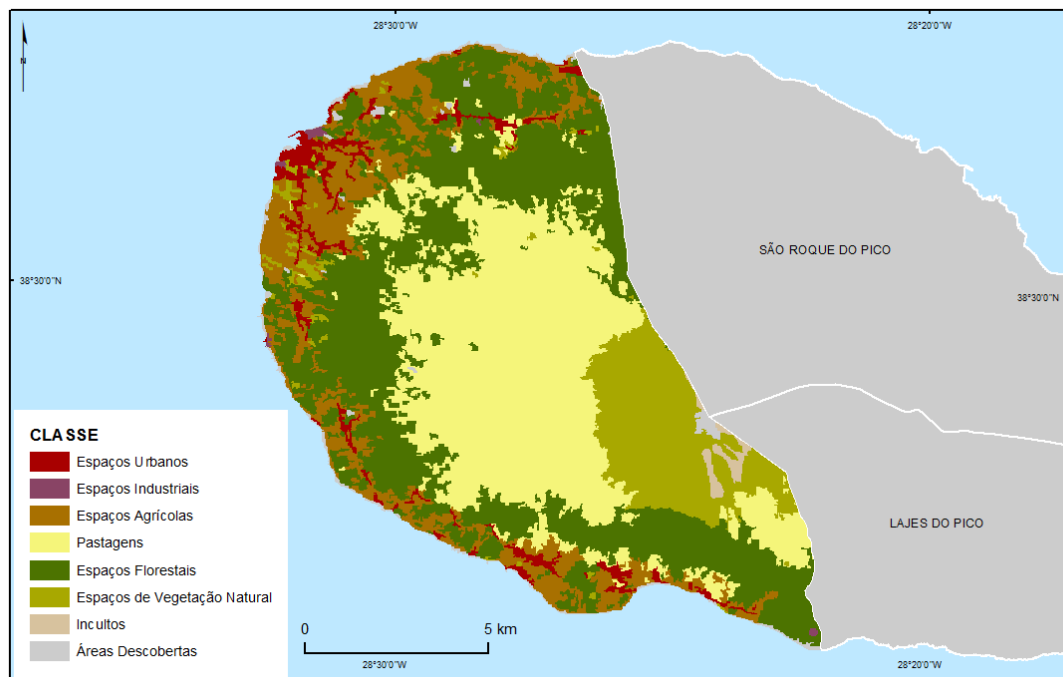


Figura 13 - Ocupação do solo no município da Madalena

Fonte: Direção de Serviços de Recursos Hídricos e Ordenamento do Território (DRHOT)



Figura 14 - "Proto-ilha" - organização territorial típica de uma ilha de origem vulcânica

Fonte: Extraído de PROTA - "Visão e Sistemas Estruturantes" (2008)

Segundo o Livro das Paisagens dos Açores (Cancela d'Abreu *et al.*, 2005), podemos destacar cinco unidades de paisagem no município da Madalena (Figura 15): a Montanha do Pico, a Encosta da Madalena/Pico, a Encosta do Porto Cachorro/Pico/Santo António, Matos e Prados de Altitude e os Mistérios de São Mateus/S. João/ Silveira. Ainda se destacam como elementos Singulares os Mistérios de Cachorro/ Santa Luzia e a Montanha do Pico.

Foram também adicionados à divisão de unidades de paisagem sugerida pela Direção de Serviços de Recursos Hídricos e Ordenamento do Território (DROTRH) os locais cujo uso do solo é ocupado por vinhas, visto estas serem consideradas Património Mundial em Portugal pela UNESCO em 2004.

A unidade de paisagem da Encosta da Madalena e a Montanha do Pico é fortemente marcada pela relação entre a Montanha do Pico e o mar, caracterizada por uma costa baixa, escura, pedregosa e com vegetação baixa, evidenciando a imponência da Montanha do Pico.

A Encosta de Porto Cachorro / Pico / Santo António é uma paisagem de topografia mais irregular, onde ainda se destaca a presença da Montanha do Pico na paisagem.

No município da Madalena ainda está presente, em pequena proporção, parte da unidade de paisagem de Matos e Prados de Altitude, onde acima dos 700 metros de altitude, é maioritariamente ocupada por pastagens, matos baixos ou altos, com presença de algumas espécies de Laurissilva Azórica.

A parte Sul do município é caracterizada pelos Mistérios de São Mateus / São João / Silveira, onde a costa é muito estreita, desenvolvendo-se em altitude rapidamente para a Montanha do Pico.

Quanto aos elementos singulares no município da Madalena, é de destacar: o Mistério do Cachorro / Santa Luzia a Norte, uma faixa costeira com formas basálticas de lava do tipo Pahoehoe, associadas à erupção de 1718; a montanha do Pico visível de todos os locais da ilha do Pico, e com influência nas paisagens das ilhas de São Jorge e do Faial; as vinhas, cultura feita em currais de muretes de pedra escura, muitos com uma dimensão que suporta apenas dois pés de vinha, com o objetivo de proteger as

culturas não só da erosão do solo, mas também protegendo-as da influência marítima e dos ventos.

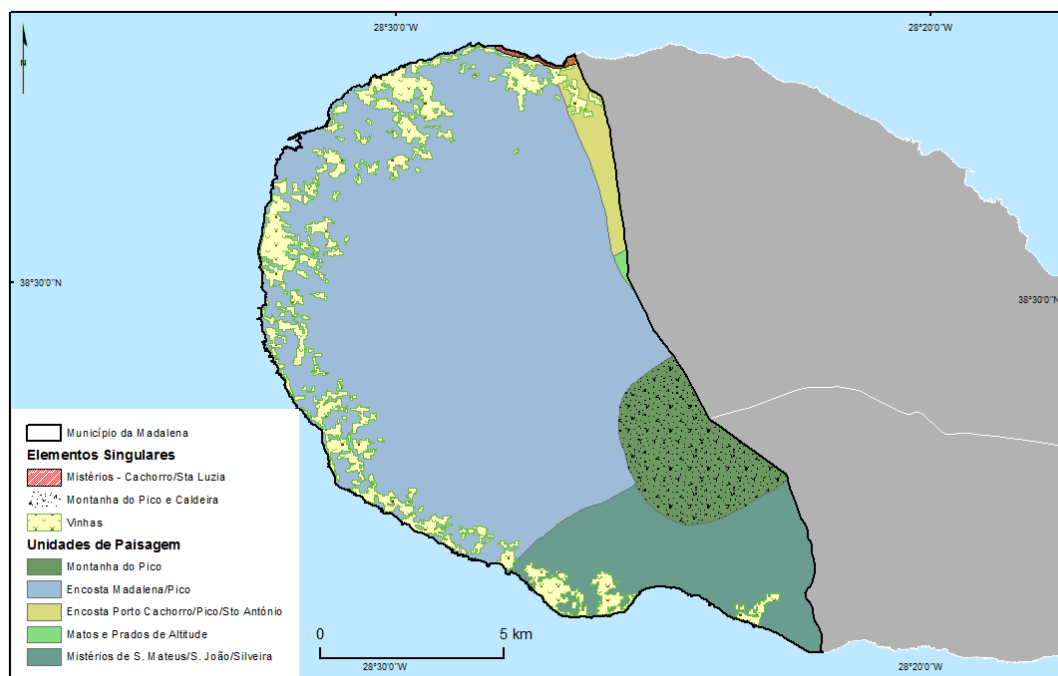


Figura 15 - Unidades de paisagem e elementos singulares no município da Madalena

Fonte: Direção de Serviços de Recursos Hídricos e Ordenamento do Território (DRHOT)

A vegetação no município da Madalena (Figura 16) pode ser caracterizada através do catálogo florestal da ilha do Pico, que discrimina as espécies dominantes e dominadas e a sua espacialização, e através da carta de uso do solo, que discrimina as áreas de pastagem e as áreas de cultivo de cultura, como o pomar e a vinha.

Através do catálogo Florestal podemos perceber que a espécie dominante mais comum no município da Madalena é o *Pittosporum undulatum*, estando este presente em todas as freguesias e representando 35% das espécies florestais dominantes no município. Ainda em freguesias como Candelária, São Mateus e Madalena há a presença de *Myrica Faya*, com uma representação de 5% no município. Outras espécies dominantes que se podem observar no município, mas com uma menor representação são a *Acacia melanoxylon*, *Cryptomeria japonica*, *Pinus pinaster* e o *Pinus tumbergi*.

As culturas permanentes presentes no município da Madalena são essencialmente a vinha, espalhadas por todas as freguesias. Há ainda uma pequena área de pomar na freguesia da Madalena.

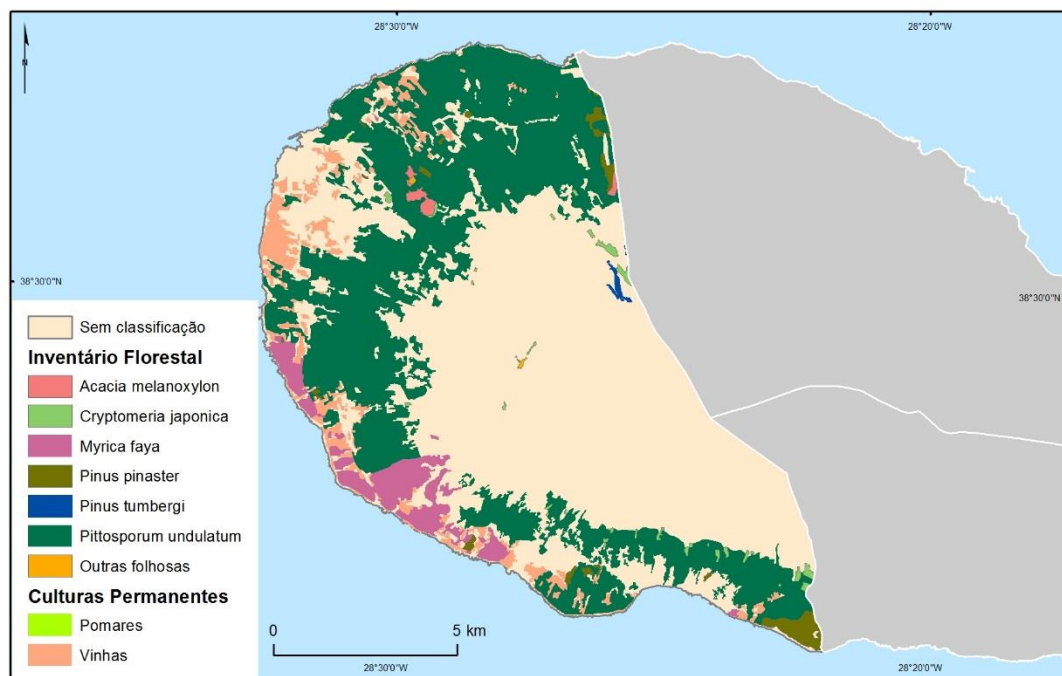


Figura 16 - Inventário florestal no município da Madalena

Fonte: Direção Regional dos Recursos Florestais

5. EROSÃO HÍDRICA DO SOLO NO MUNICÍPIO DA MADALENA

5.1. INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

A informação geográfica utilizada para a elaboração dos métodos presentes neste capítulo encontra-se sinteticamente apresentada no Quadro 4, assim como as suas fontes e formatos originais. A cartografia em formato analógico foi digitalizada/vetorizada de forma a ser inserida num SIG e assim executar os cálculos e análises espaciais necessários.

O sistema de coordenadas em que estas foram transformadas e trabalhadas foi PTR08 -UTM/ITRF93, sistema a utilizar nas Regiões Autónomas de acordo com o Decreto-Lei n.º 141/2014, artigo 3º.

Quadro 4 - Fontes de informação geográfica

Escala	Designação	Formato/Estrutura	Produtor (Proprietário)
1:50 000	Carta Geológica das Ilhas da Graciosa, São Miguel, Santa Maria e Pico (folha A)	Analógico	Serviços Geológicos de Portugal
	Classificação USDA de solos	Raster (resolução 1km)	www.soilgrids.org
	Conteúdo de Argila a 0 metros	Raster (resolução 1km)	www.soilgrids.org
	Conteúdo de Silte a 0 metros	Raster (resolução 1km)	www.soilgrids.org
	Conteúdo de Areias a 0 metros	Raster (resolução 1km)	www.soilgrids.org
1:25 000	Altimetria - Carta Militar de Portugal Série M889, folhas 7, 8, 10 e 11	Vetorial (linhas)	Centro de Informação Geoespacial do Exército (IGeoE)
	Carta de Ocupação do Solo da Região Autónoma dos Açores	Vetorial (polígonos)	Direção Geral do Território
	Modelo CIELO – Precipitação Média Anual	Analógico	CIELO - CNMG
	Modelo CIELO – Temperatura Média Anual	Analógico	CIELO - CNMG
	Inventário Florestal da Região Autónoma dos Açores	Vetorial (polígonos)	IFRAA
	Planta de Condicionantes do PDM da Madalena	Analógico	Camara Municipal da Madalena
	Esboço Pedológico da Ilha Graciosa	Analógico	Instituto Nacional de Investigação Científica
1:100 000	Esboço Pedológico da Ilha de Santa Maria	Analógico	Instituto Nacional de Investigação Científica
	Esboço pedológico da ilha de São Miguel	Analógico	Instituto Nacional de Investigação Científica

Como referido, tanto as cartas geológicas, os esboços pedológicos como a Planta de Condicionantes do PDM da Madalena em vigor foram digitalizados e posteriormente vetorizados, desenhando os polígonos correspondentes a cada classe geológica, pedológica ou classes de condicionantes. Todos os temas foram sujeitos a uma análise topológica para verificar e corrigir eventuais erros, nomeadamente ausência de informação ou sobreposições.

Adicionalmente foram criados na tabela de atributos campos de identificação e classificação, onde se consideraram os seguintes atributos:

- a) Litologia: ID, Designação, Code;
- b) Pedologia: ID, Designação, Solo1, Solo2, Solo3, Code1, Code2, Code3;
- c) Planta de Condicionantes: ID, Designação.

Os temas de base e finais, em estrutura matricial, bem como toda a modelação apresentam uma resolução de célula de 5 x 5 m.

5.2. EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO NO PDM EM VIGOR

No PDM em vigor, delimitado de acordo como Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março, a tipologia equivalente às atualmente denominadas áreas de risco de erosão hídrica do solo era referido como áreas de risco de erosão, escarpas e falhas. As áreas de risco de erosão hídrica do solo faziam parte de uma tipologia muito generalizada que engloba todas as áreas com risco de erosão do solo mais restrita, em que são considerados fatores como características do solo e subsolo, declive, dimensão de vertentes, coberto vegetal e práticas culturais mas também situações de instabilidade de vertentes que podem contribuir para a perda de solo, nomeadamente, deslizamentos ou queda de blocos.

Assim, as áreas de risco de erosão, escarpas e falhas (Figura 17) foram delimitados a sul da montanha do pico, onde o declive é muito acentuado tendo em conta a pequena dimensão da vertente. O método de delimitação desta categoria não está muito clara nos decretos-lei pela qual era regida a REN, pelo que esta dependia essencialmente de

estudos próprios das Comissões de Coordenação Regional ou das entidades público-privadas que elaboraram esses PDM (DL 93/90, artigo 3º).

Assim, a área de risco de erosão, escarpas e faixas, presente na Figura 17, ocupam uma área de cerca de 30 km², correspondente a 11 % do município da Madalena. Esta categoria distribuía-se maioritariamente a sul da montanha do Pico, área com um declive acentuado, e ainda havendo algumas delimitações em torno de cones vulcânicos com presença de escórias. No entanto, não será o declive a única variável influente, pois mais a montante da vertente sul também há declives com mais de 25 graus e não se encontra integrado nesta tipologia da RE. O que parece ainda estar a influenciar esta delimitação é a litologia presente na vertente sul, onde existem formações de vertente, isto é, material mais solto e propenso a erosão, sendo que estes são originários dos desabamentos provenientes da caldeira do Pico.

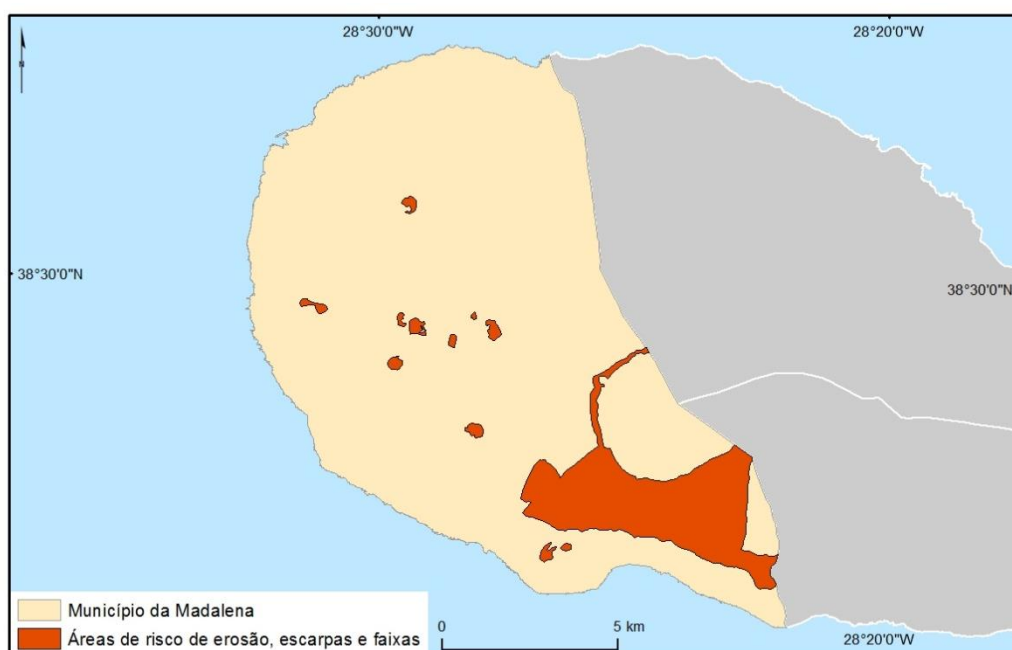


Figura 17 - Delimitação das áreas de risco de erosão, escarpas e faixas no município da Madalena

Fonte: Extraído de Planta de condicionantes do PDM da Madalena. Designações segundo PDM em vigor.

5.3. AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO - PLANO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A metodologia expressa no Plano de Gestão de Recursos Hídricos (PGRH) da ilha do Pico para a avaliação da suscetibilidade à Erosão Hídrica do Solo, propõe um método de cruzamento dos seguintes parâmetros: Densidade de Drenagem (km/hm^2), Declive (graus), Precipitação Média Anual (mm), Litologia e Ocupação do Solo, sendo estes os temas utilizados no presente relatório. Esta metodologia foi desenvolvida pela equipa responsável pelo PGRH, não se conhecendo em detalhe os processos e critérios utilizados na sua elaboração.

Contudo, aparentemente, na metodologia proposta, a utilização de cada um dos parâmetros implica a classificação dos dados de base em 5 classes, às quais é atribuído um índice de erosão (I.E.). Os temas reclassificados com base no I.E. são então a base temática para aplicação da metodologia (Quadro 5).

Quadro 5 - Parâmetros de avaliação de suscetibilidade à erosão hídrica – Classes e Índices de erosão

Suscetibilidade à Erosão		1	2	3	4	5
		Baixa	Moderada	Média	Alta	Muito alta
Densidade de Drenagem (km/km^2)	Classes	0 – 2,2	2,2 – 4,4	4,4 – 6,6	6,6 – 8,8	> 8,8
	I.E.	1	2	3	4	5
Declive (graus)	Classes	0 – 1,7	1,7 – 6,6	6,6 -15,2	15,2 – 26,2	$\geq 26,2$
	I.E.	1	2	3	4	5
Litologia	Classes	1	2	3		
	I.E.	5	3	1		
Ocupação do Solo	Classes	Espaços Urbanos	Mato	Floresta	Solos Agrícolas	Pastagem
	I.E.	1	2	3	4	5
Precipitação Média Anual (mm)	Classes	<1018	1018 - 1268	1268-1519	1519-1769	>1769
	I.E.	1	2	3	4	5

Fonte: Adaptado de PGHR Pico.

As classes litológicas referidas no quadro anterior representam: 1 – aluviões, areias de praia, dejeções torrenciais e formações de vertentes; 2 – cones de escórias; 3 – escoadas lávicas de natureza basáltica. Aquando da reclassificação verificou-se uma

incoerência na tabela que vem publicada no Plano de Gestão de Recursos Hídricos da Ilha do Pico em relação à cartografia do PGRH (shapefile) cedida pela Quaternaire, produzida pela Simbiente - *Environmental Engineering and Management*. Verificou-se que o erro estaria na tabela, uma vez que não seria expectável que os substratos rochosos mais consolidados fossem os que maior suscetibilidade à erosão apresentavam, pelo que o Quadro 5 já tem este erro corrigido.

O cruzamento dos parâmetros foi realizado de acordo com a Figura 18. Este método é aplicado através de sucessivas multiplicações faseadas e ordenadas entre o parâmetro e o resultado obtido anteriormente até que todos os parâmetros tenham sido considerados. O resultado obtido entre cada cruzamento é posteriormente reclassificado, sendo esse resultado utilizado como um dos fatores no produto seguinte (Quadro 6).

O primeiro cruzamento é efetuado entre Densidade de Drenagem reclassificada (A) e o Declive reclassificado (B), resultando em AB. O resultado obtido é, por sua vez, reclassificado (AB Reclassificado) e multiplicado pela Precipitação Média Anual reclassificada (C), resultando em ABC e assim sucessivamente, integrando e reclassificando a Litologia e por último o Uso do Solo, resultando em ABCDE. O resultado final resulta da reclassificação dos resultados obtidos em ABCDE (Quadro 6).

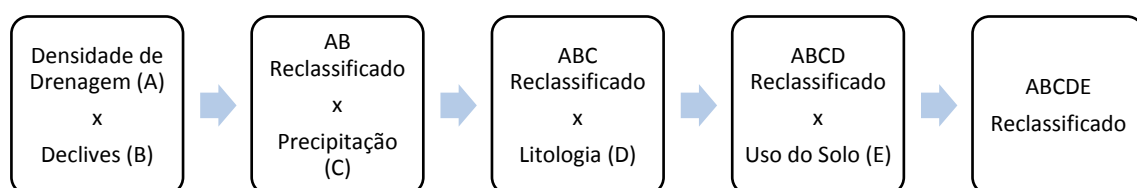


Figura 18 - Esquema de avaliação da suscetibilidade a erosão hídrica do solo segundo o método do PGRH

Quadro 6 -Reclassificação dos resultados no método de avaliação de erosão hídrica do PGRH

Intervalos considerados para a reclassificação	
Resultado do produto	Reclassificação
0	0
1 – 2	1
3 – 5	2
6 – 9	3
10 – 15	4
16 – 25	5

Fonte: Extraído de PGRH

A aplicação desta metodologia, aparentemente simples, revelou-se muito difícil de realizar por diferentes motivos. No capítulo 2.9.4 do Relatório Técnico do PGRH (SRAM, 2009) referente ao Pico, é referido que esta “metodologia é adaptada da metodologia desenvolvida por Andrade *et al.* (1987) e Andrade (1990)”, não havendo referências deste autor na bibliografia, tornando desde logo muito difícil a compreensão deste modelo, uma vez que apenas a tabela com as diferentes classes e respetivo I.E. são indicadas.

Assim, através da cartografia original do PGRH fornecida pela Quaternaire, produzida pela Simbiente - *Environmental Engineering and Management*, procedeu-se a uma análise iterativa procurando perceber como é que os diferentes parâmetros se conjugavam até obter um resultado final aproximado ao referido. É deste procedimento que resultam a Figura 18 e o Quadro 5.

Verificou-se também através da tabela de atributos desta *shapefile* a gafe na ponderação dada à litologia, onde os índices de erosão apresentados na tabela contradizem o que se verifica nos dados da cartografia disponibilizada pela equipa responsável pela elaboração deste relatório. Esta gafe presente no texto e na tabela original de ponderação (PGRH Pico) foi inicialmente a origem de um erro nos resultados obtidos, que originavam um mapa final de erosão muito diferente do apresentado no PGRH.

Só após comparação com os dados em formato digital foi possível identificar a possível causa. Na tabela do referido Relatório, os valores de ponderação da litologia são o oposto, i.e., a classe 1 é ponderada com o valor 1, a classe 2 ponderada como 3 e a classe 3 ponderada como 5.

Com as referidas ponderações os materiais sem agregação e/ou com pouca compactação (aluviões, areias de praia, dejeções torrenciais e formações de vertentes) são considerados com o menor índice de erosão enquanto materiais mais compactos (escoadas lávicas) apresentavam a maior propensão para sofrerem erosão. Assim, é certo que o ideal seria ter como base uma carta de solos ou de tipo de solos, onde é mais perceptível a compactação do solo e a sua resistência à erosão hídrica. No entanto, na sua ausência aceitar a litologia como um possível indicador é aceitável. Contudo, embora se perceba que as unidades muito porosas poderão levar a fraco escoamento superficial e desse modo diminuir a erosão potencial, parece-nos que considerar as escoadas lávicas, que não obstante a sua possível alteração são por base rochas consolidadas, como as que apresentam maior propensão para erosão hídrica quando comparadas com unidades de menor dureza, é excessivo, fato comprovado pelos resultados obtidos com a aplicação da ponderação referida no Relatório.

Adicionalmente, o Relatório não explicita a metodologia de modo pormenorizado, dando a entender que é apenas uma multiplicação única das reclassificações de cada um dos parâmetros e não por etapas. Para entender essa relação foi necessária uma análise da tabela de atributos da cartografia digital, onde após várias tentativas-erro foi encontrada a relação entre estas.

Os intervalos utilizados para a ponderação dos produtos não são explicados ou explicáveis.

Criticamente, a metodologia utilizada embora possa ser uma abordagem simples usando parâmetros mais fáceis de obter em termos de distribuição espacial, não parece ser a mais adequada por dois grandes motivos: i) um elevado grau de generalização resultante quer da classificação inicial quer das sucessivas reclassificações dos resultados obtidos após inserção de cada um dos parâmetros; ii) avalia-se a erosão hídrica do solo sem nunca ter em conta o parâmetro “solo”. No entanto, este pode ser o método possível aquando da inexistência de informação de base. Acresce o facto de as classificações de base se poderem tornar de pouca relevância dado o pouco pormenor da cartografia de base (Quadro 4 e Quadro 5).

O resultado da aplicação desta metodologia, apresentada na Figura 19, mostra uma maior erosão associada aos cones de escórias e, nos bordos do cone vulcânico principal,

e nos depósitos de vertente que aí se registam. Adicionalmente, é evidente a influência do declive no setor sul da montanha do Pico, onde se observam valores de suscetibilidade à erosão médios. As áreas sociais, nomeadamente da vila da Madalena, como seria expectável apresentam os valores de suscetibilidade mais baixos.

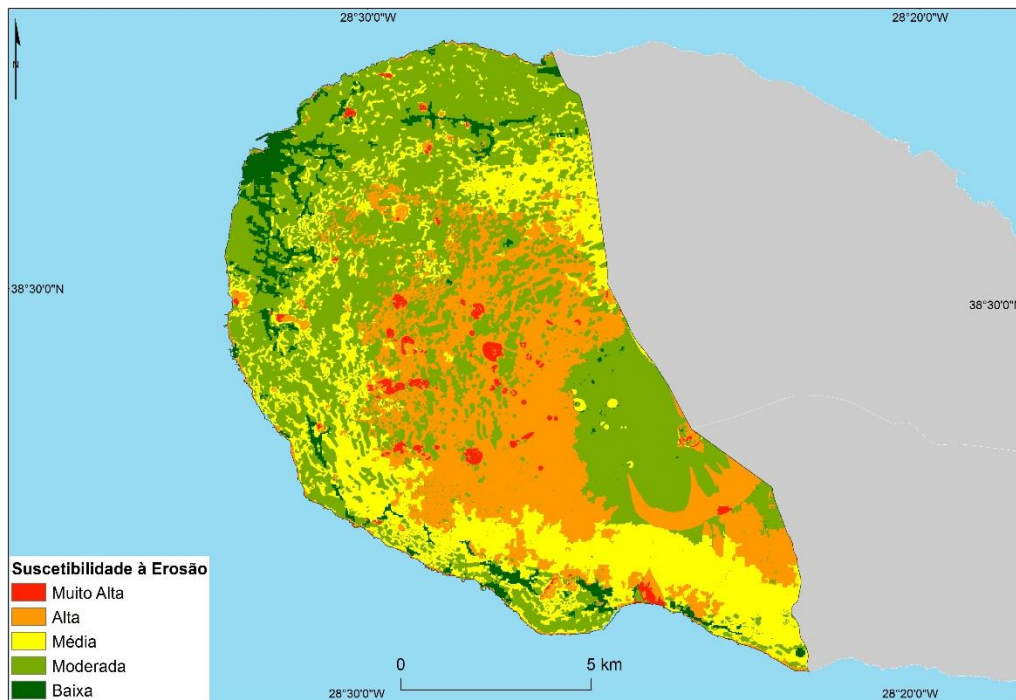
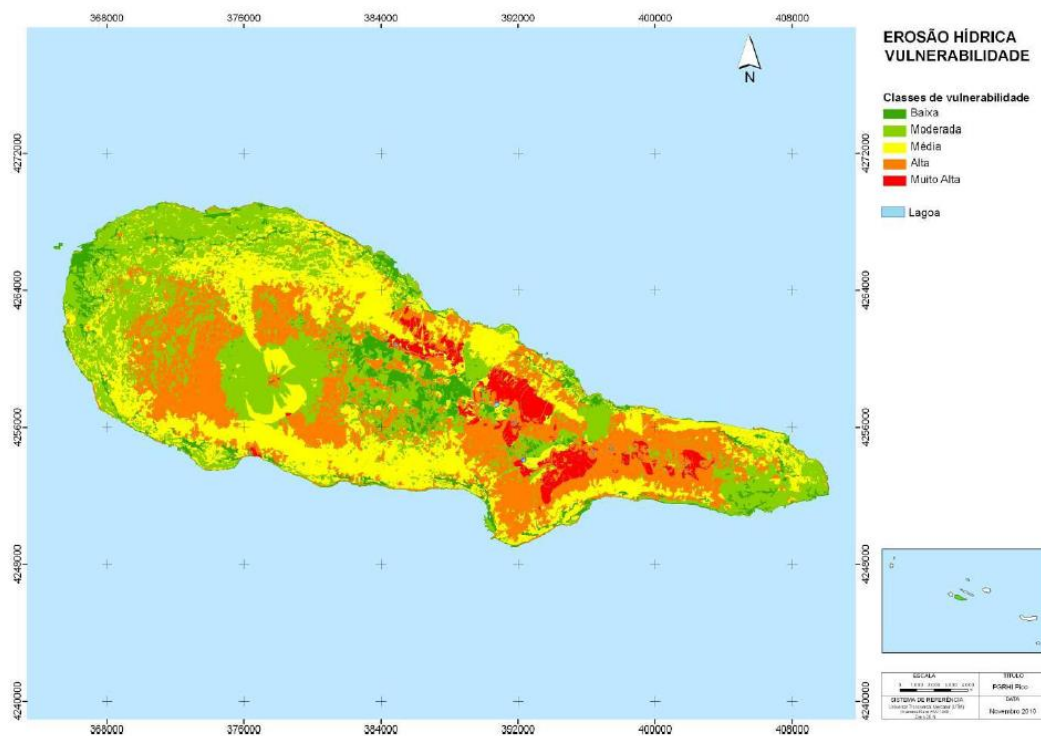


Figura 19 – Suscetibilidade à erosão hídrica e transporte de material sólido segundo o método PGRH, no, município da Madalena

Após a aplicação de toda a metodologia com o ajuste baseado na cartografia digital cedida pela Quaternaire, encontram-se ainda algumas diferenças entre o resultado obtido (Figura 19) e a imagem publicada no Relatório Técnico (Figura 20). Contudo, nem pela consulta de equipa técnica que o realizou nem pelo Relatório houve possibilidade de encontrar uma explicação para as diferenças observadas, visível por exemplo a sul do topo da Montanha do Pico.



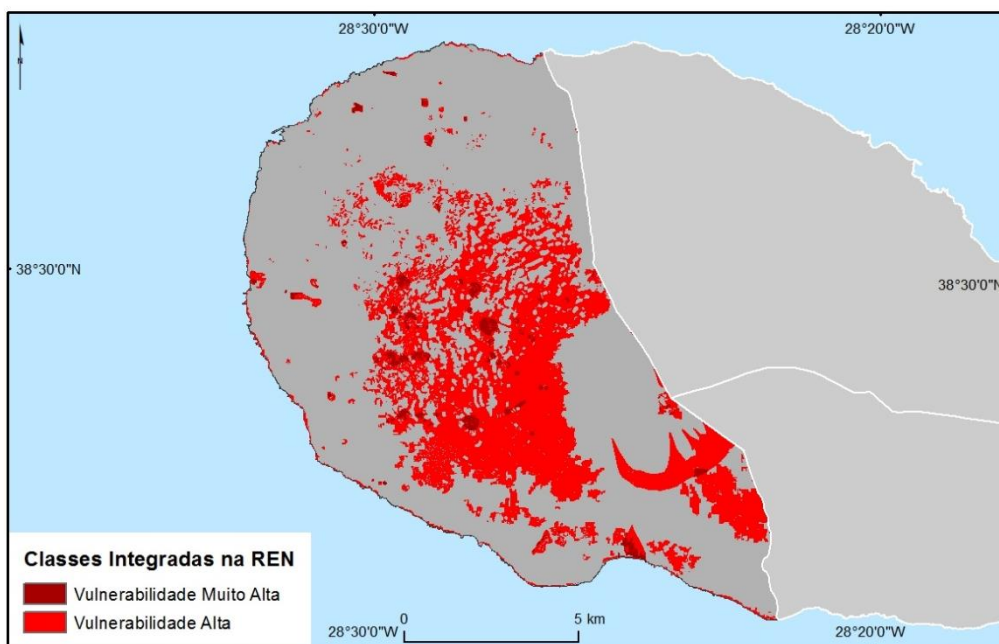


Figura 21 - Classes integradas na REN do município da Madalena, de acordo com a metodologia do PGRH

As áreas integradas na REN segundo este método são coincidentes com a maior parte dos cones de escórias, presentes no parâmetro da litologia, havendo ainda algum peso deste parâmetro a sul na freguesia de São Caetano, coincidente com a classe litológica de dejeção torrencial. A litologia tem um grande peso no resultado final, também devido à primeira reclassificação deste método que confere um peso de 5 para as dejeções torrenciais e 3 para os cones de escórias, i.e. 5 e 3 vezes mais que para escoadas lávicas.

O peso do parâmetro da litologia é ainda muito visível no lado sul do topo da montanha do pico, onde se pode verificar a classe de “formação de vertente”.

A combinação da litologia com a ocupação do solo parece explicar a maior parte da classificação de “vulnerabilidade” alta que se vê no lado oeste do município. De facto, a mancha de “vulnerabilidade” alta que se pode observar ao longo da vertente este da montanha do Pico parece coincidir com as pastagens, cuja reclassificação lhe confere um peso de 5, o mais alto desta categoria.

5.4. AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO HÍDRICA DO SOLO - RESERVA ECOLÓGICA REGIONAL

Como referido anteriormente, a EUPS é um método para a predição de perda de solo em vertentes, consoante as suas características físicas (solo, declive, comprimento da vertente) e de agentes potenciadores de erosão, sejam eles naturais, através do impacto de gotas de chuva, ou antrópicos, através das características de culturas e seus sistemas de gestão e técnicas utilizadas (Wischmeier & Smith, 1965). Da autoria de Wischmeier & Smith (1965), como o resultado da investigação desenvolvida pelo Science and Education Administration em parceria com a Universidade de Purdue, em várias parcelas de terreno de diferente estados dos EUA, foi desenvolvido um índice de erosão da precipitação. Adicionalmente, foi efetuada uma quantificação do fator de erodibilidade do solo, avaliado de acordo com as propriedades de cada solo e da topografia, uma avaliação das culturas e da sua gestão e uma quantificação dos efeitos das interações entre as culturas, a sua produtividade, as práticas de cultivo e a gestão de resíduos (Wischmeier & Smith, 1978).

Assim, a EUPS é traduzida pela seguinte equação:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

Onde:

- A é a perda de solo estimada por unidade de área, expressa em $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$;
- R é o fator da erosividade associado à chuva, expresso em $\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$;
- K é o fator de erodibilidade associado ao tipo de solo, expresso em $\text{t.h.Mj}^{-1}.\text{mm}^{-1}$;
- L e S são fatores topográficos e as suas unidades de medida são adimensionais;
- C é o fator de uso do solo, sendo uma medida adimensional expressa entre 0 e 1;
- P é o fator de práticas culturais, sendo uma medida adimensional expressa entre 0 e 1.

Enquanto os primeiros quatro fatores da EUPS nos dão a erosão hídrica potencial, os últimos dois aportam a importância da pressão humana nos processos erosivos, i.e. quando o valor de C ou P se aproximam de 0 (zero) significa que o fator funciona como

protetor do solo, diminuindo o potencial de erosão, enquanto se os valores se aproximarem de 1, o tipo de uso e prática do solo não aporta qualquer proteção contra a erosão hídrica. A conjugação dos seis fatores resulta na Erosão Hídrica do Solo Real.

No presente trabalho não foi possível aplicar as Orientações Estratégicas na sua totalidade uma vez que não existe para a ilha do Pico cartografia sobre erosividade da precipitação ou solos. Por este motivo a abordagem a estes fatores foi realizada através das metodologias propostas por Bertoni e Lombardi Neto (1990), para o fator R e Goldman *et al.* (1986) para o fator K, como se descreve pormenorizadamente nos tópicos seguintes.

5.4.1. EROSIVIDADE DA PRECIPITAÇÃO (R)

Segundo Wischmeier & Smith (1978), o fator R deve quantificar o efeito do impacto das gotas de chuva, assim como dar informação relativa à taxa de escoamento associado à chuva. Este fator dá-nos então o potencial erosivo da precipitação sobre o solo, quer na sua capacidade de destruição dos agregados do solo quer em posterior transporte de partículas.

Wischmeier & Smith (1978) definem este fator pelo índice EI 30, isto é, o produto da energia cinética da precipitação pela máxima intensidade da precipitação num período máximo de 30 minutos.

Os referidos autores sugerem o cálculo deste parâmetro através da seguinte fórmula:

$$E = 916 + 331 \log 10 I \quad (2)$$

Onde:

- E é a energia cinética em pés-toneladas por acre-polegada;
- I é intensidade da precipitação em polegadas por hora.

A REN, pela Declaração de Retificação nº 71/2012, sugere que este fator deve ser “baseado nas estimativas efetuadas pelo à data INAG considerando eventos com precipitação total superior a 50,8 mm (duas polegadas), ponderados para as bacias hidrográficas em análise”. No entanto, como este documento não tem especificações metodológicas para as Regiões Autónomas, e o Modelo Numérico da Erosividade da

Precipitação, de Brandão & Rodrigues (2006), indicado como base cartográfica para o parâmetro R, apenas abrange o território nacional continental, para se utilizar este parâmetro teve que se calcular a erosividade da precipitação para a área em estudo com base numa metodologia alternativa.

O cálculo proposto por Wischmeier & Smith (1978) não foi passível de ser realizado por dois motivos principais: a falta de dados de precipitação horárias e pela falta de adequabilidade deste modelo concebido para os EUA, que poderá não se ajustar aos ritmos pluviométricos específicos dos Açores.

Assim, foi utilizada a metodologia proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1990) traduzida na seguinte equação:

$$EI = 67,355(r^2 / p)^{0,85} \quad (3)$$

Onde:

- r é precipitação média mensal em milímetros;
- p = precipitação média anual em milímetros.

A soma dos valores dos índices médios de erosão mensal corresponde ao índice médio de erosão anual, ou seja, ao fator R.

Assim, no cálculo deste fator foram recolhidos dados dos anuários climatológicos de 7 estações da Ilha do Pico, disponíveis para o período entre 1953 e 1986, nomeadamente para as estações: da Madalena (15 metros de altitude), São Roque (40 metros de altitude), Lagoa do Caiado (805 metros de altitude), Lagoa do Capitão (795 metros de altitude), Bandeiras (120 metros de altitude), Aeroporto (44 metros de altitude), Lagoa do Paúl (785 metros de altitude).

Após recolha, foram excluídas, pelo reduzido período de dados disponíveis, as estações do Aeroporto (1983 a 1986), e a estação da Lagoa do Paúl (1972 a 1976). Adicionalmente, por haver lacunas graves em algumas estações da amostra inicial, foram apenas tidos em consideração os valores de precipitação entre 1958 e 1986, sendo assim considerado para análise um período de 28 anos de dados (uma vez que não foi possível obter o anuário relativo ao ano de 1963). Não obstante a retirada de

estações ainda existiam algumas lacunas de dados mensais nas estações em análise pelo que foi necessária a colmatação dos mesmos (Anexo 2).

Com base nos dados de precipitação das estações udométricas da Madalena, São Roque, Lagoa do Caiado, Lagoa do Capitão e Bandeiras, foi aplicado o coeficiente de correlação de Pearson com o objetivo de perceber qual o grau de correlação entre estações (Quadro 7).

Quadro 7 -Matriz de coeficientes de correlação de Pearson

	Madalena	São Roque	Lagoa Caiado	Lagoa Capitão	Bandeiras
Madalena	1	0,80	0,78	0,11	0,66
São Roque		1	0,73	0,15	0,58
Lagoa Caiado			1	0,11	0,62
Lagoa Capitão				1	0,14
Bandeiras					1

O coeficiente de correlação de *Pearson* diz-nos o grau de correlação entre duas variáveis, resultando num valor entre -1 (correlação negativa perfeita) e 1 (correlação positiva perfeita). Ao analisar o Quadro 7, podemos afirmar que as correlações obtidas são significativas (destacadas a negrito no Quadro 7), estando acima de 0,7 à exceção de Madalena-Bandeiras, com 0,66, valor que se aproxima ao valor aceitável de correlação. As correlações apresentadas têm um nível de confiança de 99% de acordo com os valores críticos do coeficiente de correlação de *Pearson*.

Os valores entre as estações em estudo mostram que há uma forte correlação entre a estação da Madalena e as estações de São Roque, Lagoa do Caiado e Bandeiras (Quadro 7). Mostra, ainda, que não há um valor de coeficiente de correlação suficientemente forte da estação da Lagoa do Capitão com mais nenhuma outra estação em estudo, pelo que esta foi retirada da análise da precipitação por não ser possível colmatar com o mínimo de confiança as suas lacunas.

Assim, através de gráfico de regressão simples com as respetivas linha de tendência linear e equação (Figura 22) foi efetuado o preenchimento de lacunas de dados mensais

de precipitação, utilizando a estação com melhor correlação e dados disponíveis para o mês em falta.

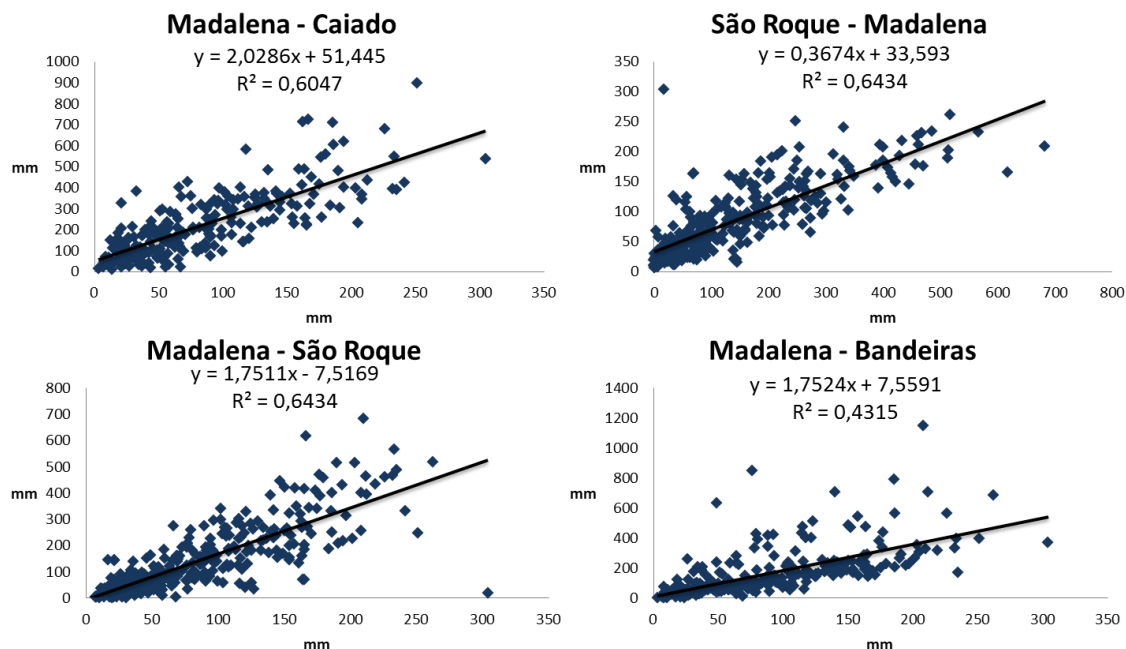


Figura 22 - Regressão linear simples entre estações udométricas (ilha do Pico): 1958-1986

Assim foram colmatadas: 8 lacunas na série de dados da Estação da Madalena, 12 lacunas na série de dados da Estação de São Roque, 100 lacunas na série de dados da Lagoa do Caiado e 56 lacunas de dados da estação de Bandeiras. Com base nestes dados procedeu-se ao cálculo do EI médio mensal segundo a expressão apresentada por Bertoni e Lombardi Neto (1990), sendo o R resultado da soma das EI mensais.

Quando necessário os resultados obtidos foram convertidos de MJ.mm/ha.ano para ft-ton/acre, utilizando o fator de conversão de 1,702 (Wischmeier &Smith, 1978).

Quadro 8 - Precipitação (P) e índice de erosividade (Ei) em estações udométricas da ilha do Pico

	Madalena (15m altitude)		São Roque (40m altitude)		Lagoa do Caiado (805m altitude)		Bandeiras (120m altitude)	
	P(mm)	Ei médio mensal	P(mm)	Ei médio mensal	P(mm)	Ei médio mensal	P(mm)	Ei médio mensal
Janeiro	128,83	707,70	248,78	1397,96	318,32	1444,61	249,19	1294,39
Fevereiro	125,38	675,74	249,71	1406,85	312,00	1396,21	228,75	1119,05
Março	99,33	454,82	221,49	1147,40	273,55	1116,49	179,03	737,79
Abril	72,86	268,54	122,96	421,92	204,00	678,04	130,92	433,39
Maio	54,90	165,99	73,54	176,07	142,00	366,23	86,49	214,19
Junho	46,97	127,33	53,31	101,91	123,09	287,27	70,67	151,92
Julho	34,04	73,64	37,11	55,06	96,67	190,50	59,52	113,48
Agosto	52,94	156,06	61,60	130,27	132,43	325,29	75,89	171,51
Setembro	83,75	340,35	110,74	353,14	220,21	772,17	142,41	500,01
Outubro	105,91	507,21	152,05	605,33	275,12	1127,41	170,71	680,43
Novembro	118,30	612,15	211,96	1064,77	313,02	1403,93	265,69	1443,37
Dezembro	119,84	625,79	202,84	988,06	339,97	1615,58	258,71	1379,57
Total P	1043,04		1746,10		2750,38		1917,99	
R MJ.mm/ha.ano	4715,33		7848,74		10723,74		8239,11	
R ft-ton/acre	2770,46		4611,48		6300,67		4840,84	

Para a distribuição espacial do fator R, foi feita uma correlação entre a altitude das estações udométricas e os valores calculados do fator R segundo a metodologia de Bertoni e Lombardi Neto (1990). Assim, foi estimada a equação de regressão linear (Figura 23), usada posteriormente para a interpolação do fator R com a altitude derivada do modelo digital de elevação, resultando assim no modelo de erosividade (Figura 24).

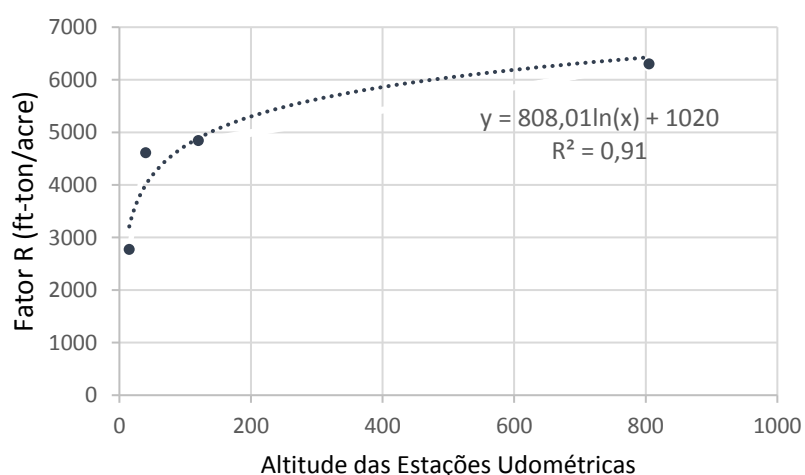


Figura 23 -Relação do fator R com a altitude (ilha do Pico)

Os valores de precipitação, obtidos por interpolação, foram ainda correlacionados com os valores de altitude após verificar que a relação entre estes dois fatores

apresentava um coeficiente de determinação de 0,91, podendo ser considerado bom. Assim, esta relação não poderia ser ignorada, auxiliando a colmatação de falta de estações a diferentes altitudes ou com uma distribuição homogênea no espaço, assegurando assim que o resultado da Figura 24 traduz o mais fielmente possível o que seria a distribuição espacial do potencial erosivo da precipitação no Pico.

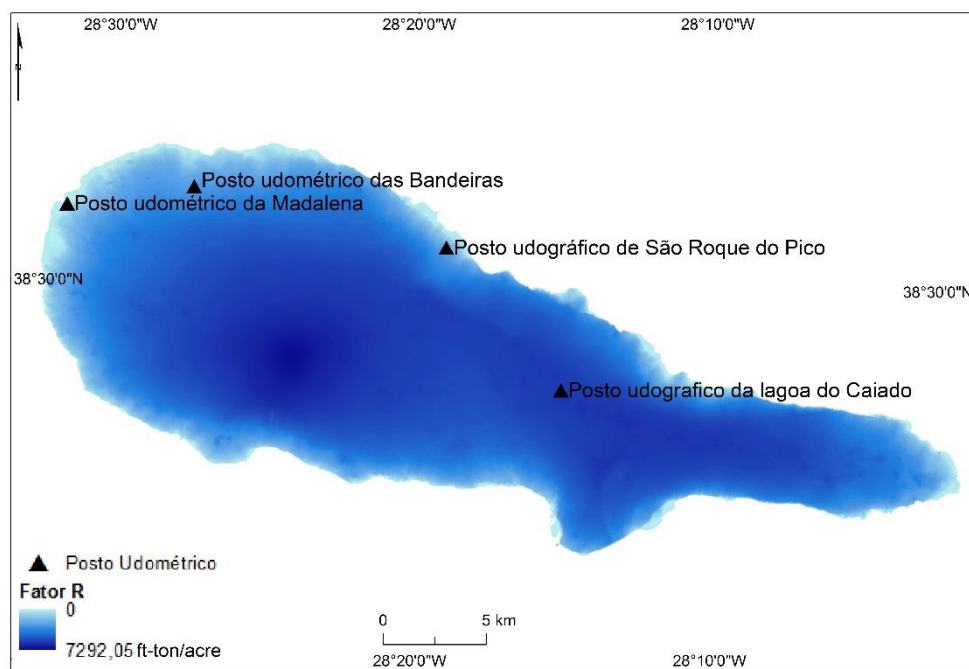


Figura 24 - Erosividade da precipitação (R) na ilha do Pico

O modelo de erosividade da precipitação obtido apresenta os valores de R mais elevados quanto maior a altitude. Este demonstra assim a influência do relevo na precipitação ocorrida e sua intensidade, verificando-se essa relação mesmo nos cones de escórias secundários que se encontram nas vertentes do vulcão principal (Figura 24).

5.4.2. ERODIBILIDADE DOS SOLOS (K)

Segundo Wischmeier & Smith (1978), o fator erodibilidade (K) na EUPS é um valor quantitativo determinado experimentalmente. Este deve ser medido por unidades de

parcelas, onde uma parcela tem 22,13 m de comprimento e 9 % de declive, mantida sem vegetação durante dois anos. As qualidades físicas e químicas desta parcela são estudadas durante este tempo, sendo assim possível definir o valor de K nestas parcelas.

O cálculo deste fator obriga ao conhecimento de vários aspetos sobre os solos, nomeadamente, a textura, a estrutura, a permeabilidade, e as quantidades de limo, argila, areia e matéria orgânica.

A obtenção deste fator, em Portugal Continental, e de acordo com a lei da REN, é baseado na Carta de Solos do local de estudo em combinação com os valores de erodibilidade, associados a estes solos, propostos por Pimenta (1998, 1998a). No entanto, os solos caracterizados em Pimenta (1998, 1998a), apenas contêm tipos de solos comuns em Portugal continental. Alguns dos solos que se sabe existir no Pico, como os andossolos em locais de cultura da vinha (Madruga, 2015), não estão abrangidos nesta classificação.

A Ilha do Pico também não dispõe de informação base como Carta de Solos. Nesta situação, houve uma tentativa de aplicação de um modelo de predição de solos em que, a hipótese de partida baseou-se na teoria de Jenny (1941), que refere que os solos evoluem de acordo com variáveis de transformação. Estas variáveis segundo este autor podem ser resumidas na seguinte expressão:

$$s = f(cl', o', r'p, t) \quad (4)$$

Onde:

- s é assumido com o resultado dos fatores de formação de solo;
- f é a dependência dos fatores de formação de solo;
- cl' são os fatores climáticos;
- o' são os fatores de influência dos organismos;
- r' são os fatores de topografia;
- p é o material de origem;
- t é o tempo de evolução.

Tendo estes fatores em conta, foi desenvolvido um modelo com recurso a uma árvore de decisão (software R). A ideia deste modelo assenta na premissa de que as características pedológicas disponíveis para outras ilhas dos Açores têm a influência de

5 fatores: precipitação, temperatura, litologia, declive e vegetação. Tendo como referência a expressão de Jenny (1941) estes fatores abrangeriam, principalmente, características climáticas, topográficas e de material de origem. Assim parte-se do pressuposto que se a correlação entre as variáveis independentes (5 fatores referidos anteriormente) e dependentes (tipos de solo) forem boas, pode-se então utilizar estes fatores e prever a variável dependente presente num determinado espaço (Figura 25), possibilitando deste modo a obtenção de um esboço pedológico para a ilha do Pico.

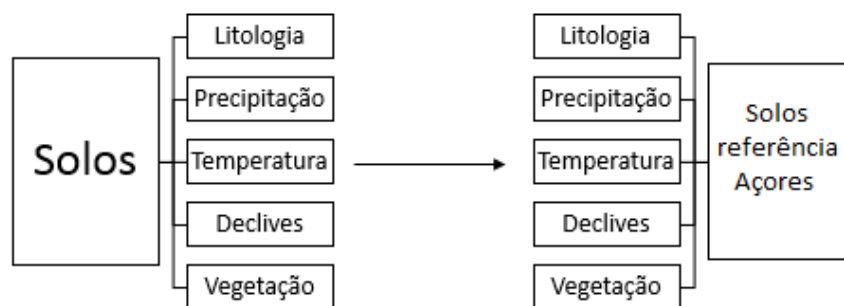


Figura 25 - Esquema conceptual do modelo para predição do tipo de solo

A seleção desta abordagem associa a disponibilidade de dados, com simplicidade, rapidez de resolução e por ser muito concreta nos resultados que dela advêm.

Neste contexto, a variável dependente consistiu nos esboços pedológicos das Ilhas Graciosa (Medina, 1981), Santa Maria (Madeira, 1980) e São Miguel (Ricardo *et al.*, 1977).

Quanto às variáveis independentes foram utilizadas para as ilhas referidas anteriormente as seguintes bases cartográficas:

- Litologia obtida através da digitalização e vectorização das Cartas Geológicas das Ilhas Graciosa, Santa Maria, São Miguel e Pico, à escala 1:50 000 (Zbyszewsky *et al.*, 1959, 1961, 1963, 1972);

- Precipitação e Temperatura providas do modelo CIELO (Clima Insular à Escala Local – Azevedo, 1996) à escala 1:25 000;
- Declive, gerado a partir da altimetria com base na Carta Militar de Portugal (1:25 000) do Centro de Informação Geoespacial do Exército (IGeoE);
- Vegetação, obtida através do Inventário Florestal da RAA (2007), à escala 1:25 000 da Direção Regional dos Recursos Florestais.

Cada um dos valores das variáveis acima foi codificado com um número único, para que fosse de fácil identificação a qualquer momento do processo (Anexo 1). Foi ainda criada uma chave única, com recurso a um pequeno *script Code* (Figura 26), na tabela de atributos da *shapefile* criada pelo *overlay/union* de todas as *shapefiles* com as variáveis codificadas acima referidas. A inserção da tabela no *R*, obriga a uma junção dos registos numa só tabela. Para isso, foi utilizada uma base de dados em *Access*, e a *query* em linguagem SQL presente na Figura 27.

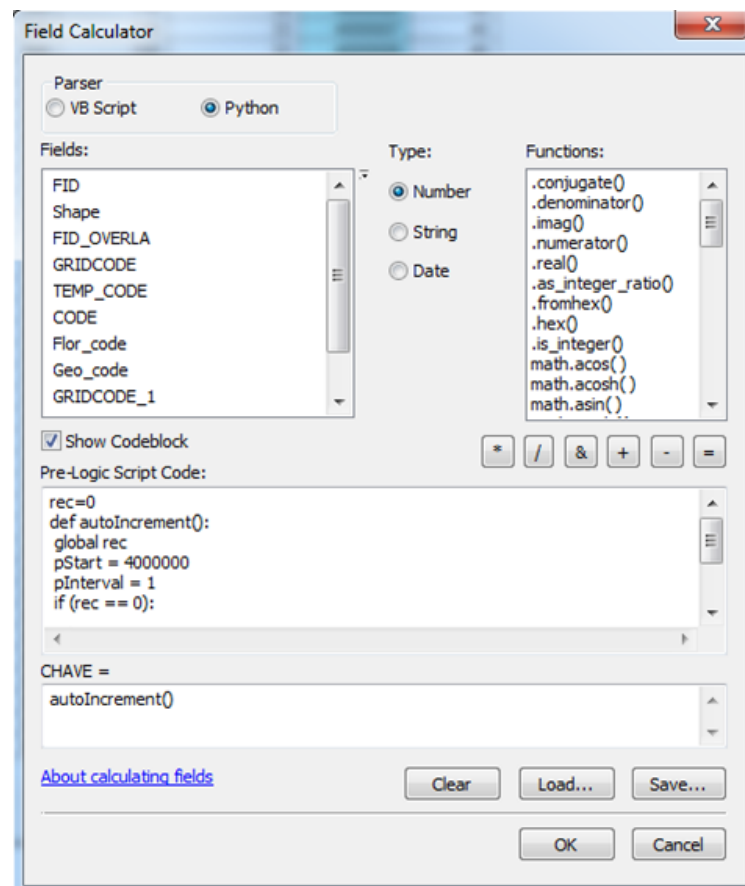


Figura 26- Código Python para criação de chave única por numeração automática


```

SELECT bd.*
Into tabela_join

From (Select CHAVE, Solo1, Solo2, Solo3, FLOR, GEO, PREC, TEMP, GRID1,
GRID2
FROM MIGUEL
UNION Select
CHAVE, Solo1, Solo2, Solo3, FLOR, GEO, PREC, TEMP, GRID1, GRID2
FROM GRACIOSA
UNION Select
CHAVE, Solo1, Solo2, Solo3, FLOR, GEO, PREC, TEMP, GRID1, GRID2
FROM MARIA
UNION Select

```

Figura 27 – SQL para junção de tabelas

A árvore de decisão foi criada através de dois packages do *R*: *rpart* e *rpart.plot*. Após a preparação do *Workspace*, e importação da tabela de dados em formato *csv* foi necessário preparar os dados, transformando o *target* da correlação como um fator, através do seguinte comando:

```
> TABELA_FINAL3$Solo1 <-as.factor(TABELA_FINAL3$Solo1)
```

Com este procedimento, informamos ao programa qual é a nossa variável dependente, isto é, alvo da nossa correlação.

Com os dados preparados, e para ter a certeza que estes não eram influenciados pela ordem com que estavam dispostos, foram baralhados com uma *seed* de 1195791, valor correspondente a 60% dos dados:

```

> set.seed(1195791)

> g <- runif(nrow(TABELA_FINAL3))

> TABELA_FINAL3R <- TABELA_FINAL3[order(g),]

```

Esta *seed* é essencialmente um algoritmo de *Random Number Generator* (RNG), que organiza de forma aleatória a ordem pelos quais os dados estão dispostos. Com a utilização destas descartamos a opção dos resultados serem influenciados pela sua organização inicial.

Após estes procedimentos os dados ficam prontos a ser utilizados para estabelecer relações entre variáveis. De seguida executa-se o comando que diz ao programa qual o

nosso *target* (Solo1, i.e. variável dependente) e quais as variáveis que são responsáveis por o prever. Foram selecionados os primeiros 80 % dos valores, previamente baralhados, para modelar, deixando 20 % para a avaliação da predição do modelo:

```
> msolo1 <-rpart(Solo1 ~ FLOR + GEO + PREC+ TEMP + GRID2,
data=TABELA_FINAL3R[1:1594388,], method="class")
```

A visualização da árvore de decisão tem que ser efetuada através do comando:

```
> rpart.plot(msolo1, type=3, extra=101, fallen.leaves = T)
```

O resultado simplificado desta ação pode ser visualizado na Figura 28.

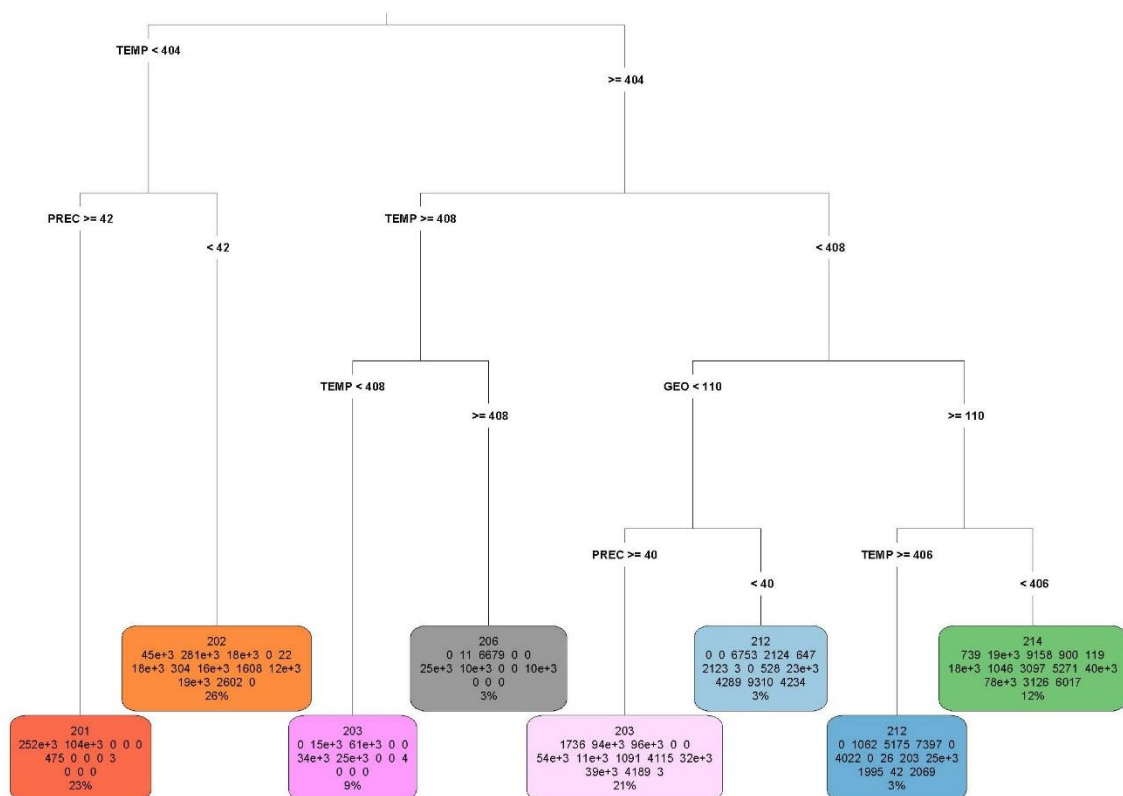


Figura 28 - Exemplo de saída gráfica de árvore de decisão

Com os dados obtidos, fez-se a validação do modelo com 20 % dos casos que foram deixados propositalmente de parte anteriormente à elaboração da árvore, avaliando

a sua capacidade preditiva. Foi ainda executada uma função para a obtenção da matriz de confusão (Figura 29) dos resultados para análise do erro.

```
> psolo1 <- predict(msolo1, TABELA_FINAL3R[1594389:1992985,], type="class")
> table(TABELA_FINAL3R[1594389:1992985,2],predicted= psolo1)
```

	predicted													
	201	202	203	204	205	206	208	209	210	212	214	215	217	
201	62991	11191	399	0	0	0	0	0	0	0	172	0	0	
202	25950	70430	27197	0	0	3	0	0	0	269	4815	0	0	
203	0	4587	39466	0	0	1664	0	0	0	2939	2222	0	0	
204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2345	226	0	0	
205	0	5	0	0	0	0	0	0	0	140	38	0	0	
206	110	4664	21937	0	0	6359	0	0	0	1450	4529	0	0	
208	0	69	9140	0	0	2637	0	0	0	0	242	0	0	
209	0	4035	264	0	0	0	0	0	0	6	756	0	0	
210	0	408	1087	0	0	0	0	0	0	182	1279	0	0	
212	1	3018	8037	0	0	2490	0	0	0	11864	10070	0	0	
214	0	4651	9875	0	0	0	0	0	0	1464	19712	0	0	
215	0	678	1037	0	0	0	0	0	0	2391	755	0	0	
217	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1615	1436	0	0	

Figura 29 – Exemplo de matriz de confusão

O erro deste modelo foi então determinado como sendo 46,20 %, podendo ser classificado como um modelo não aceitável (Anexo 3).

Este processo foi repetido mais duas vezes, onde o *target* da equação do modelo foram os solo 2 e o solo 3, isto é, uma vez que cada unidade de análise pode ter mais do que um tipo de solo, relacionou-se as variáveis independentes com os solos que os esboços apresentavam como segundas e terceiras menções, solos não predominantes na unidade.

A exportação para ambiente ArcMap, foi efetuada através de sucessivas regras de seleção por atributos à tabela original, resultando no mapa exposto na Figura 30.

O que mais se destaca neste resultado é a distribuição dos solos em anéis, expondo logo à primeira vista que este modelo é pouco aceitável. Estes anéis denotam a influência de variáveis que, já por si apresentam uma distribuição concêntrica em torno do Pico, como a temperatura e a precipitação. As poucas diferenças que se verificam são na classe que representa os andossolos saturados, o que corresponde a diferenças na variável litológica, fazendo sobressair os cones de escórias e materiais de projeção. O modelo previu estes solos com recurso a apenas três das variáveis inseridas, pois a

correlação que este encontrou com as variáveis independentes da temperatura, precipitação e geologia foi “suficiente” para a discriminação, mas não para a qualidade da mesma. Mesmo acrescentando as classificações preditivas dos “solo 2” e “solo 3”, a concentricidade permaneceu na maioria dos casos.

Ainda foi testado o mesmo modelo retirando algumas variáveis que, pela sua forte relação com a altitude, poderiam ser fonte de ruído, nomeadamente a precipitação e a temperatura, procurando-se deste modo que o modelo desse “espaço” às outras variáveis de revelarem a sua influência, nomeadamente declive e coberto vegetal. No entanto estas não se demonstraram explicativas o suficiente para o algoritmo lhes dar importância, pelo que o erro destes modelos foi sempre superior ao anteriormente exposto.

Assim os resultados de predição do tipo de solo pelo modelo anteriormente descrito não são utilizados como informação na EUPS, por três motivos: i) os resultados da validação são francamente fracos (< 50 %), ii) nas ilhas para as quais existem Esboços Pedológicos, a distribuição espacial não apresenta uma distribuição concêntrica em tornos dos grandes aparelhos vulcânicos, pelo que embora possa existir alguma relação entre altitude, precipitação ou temperatura e o tipo de solo esta não é tão “uniforme” como a que se verificou na ilha do Pico, iii) a altitude e declive da ilha do Pico são “excepcionais” quando observados em comparação com as outras ilhas em análise.

A metodologia experimentada pode tornar-se válida utilizando outro tipo de fatores que possam ser influentes no desenvolvimento de solos (*e.g.*, estrutura e camada dos depósitos superficiais) ou contemplarem tópicos em falta como influência de microorganismos e tempo de evolução. Contudo, crê-se que haverá um incremento na qualidade dos resultados obtidos sobretudo se a qualidade dos parâmetros de entrada no modelo (quer independentes quer dependentes) melhorar significativamente.

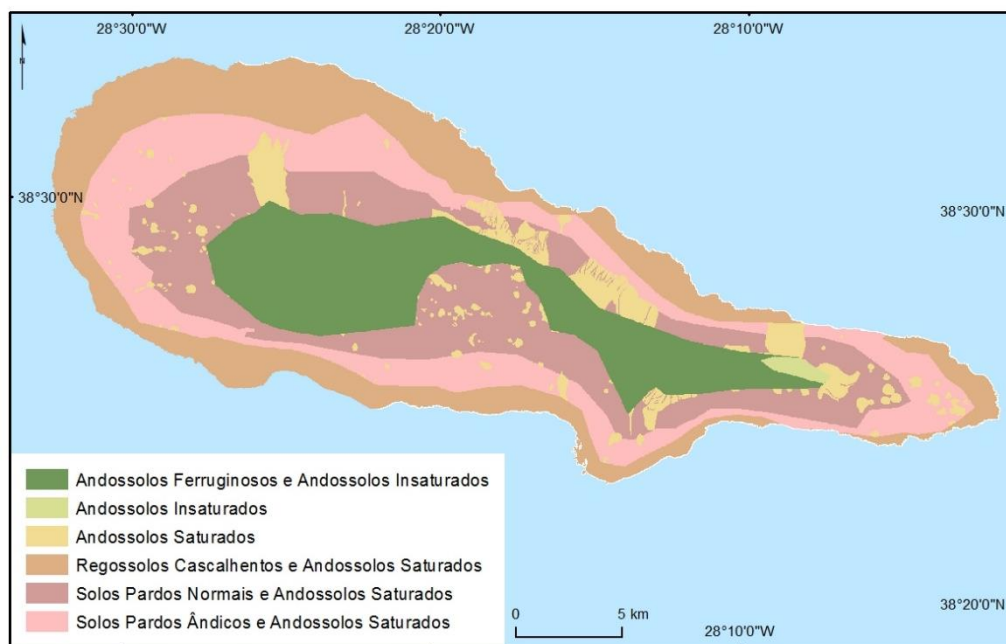


Figura 30 - Solos da ilha do Pico

Obtido através do modelo de ponderação com base nos esboços pedológicos das ilhas Santa Maria, São Miguel e Graciosa e nos fatores litologia, precipitação e temperatura

Assim, procurou-se a obtenção de um mapa de solos para a ilha do Pico recorrendo ao *ISRIC - World Soil Information* (www.soilgrids.org) uma vez que foi esta a única fonte que apresentava informações para a área em estudo. No *ISRIC* (2016) existe uma variedade de informação sobre as propriedades do solo, como a textura (areia, silte, argila em percentagem), densidade aparente, assim como os tipos de solo por classificação do *World Reference Base* e do *United States Department of Agriculture*. Estes foram gerados através de métodos de modelação estatística numa resolução de 1 km, utilizando uma compilação de perfis de solo internacionais e através da covariação de aproximadamente 75 variáveis ambientais globais, relacionando fatores de formação de solo como índices de clima, biomassa, litologia e unidades taxonómicas. Estes dados foram validados pela *World Soil Information* (*ISRIC*).

Assim, tendo em conta a informação disponível neste sítio para a obtenção de um mapa de erodibilidade dos solos foi elaborada com base no trabalho de Goldman *et al.* (1986), suportado no método do nomógrafo de Wischmeier & Smith (1978), que pode ser matematicamente representado pela seguinte expressão:

$$K_{fact} = 2.1 \times 10^{-6} f_p^{1.14} (12 - P_{om}) + 0.0325 (S_{struc} - 2) + 0.025 (f_{perm} - 3) \quad (5)$$

Em que:

$$f_p = P_{silt} (100 - P_{clay}) \quad (6)$$

Onde:

- f_p é o parâmetro referente ao tamanho das partículas;
- P_{om} é a percentagem de matéria orgânica;
- S_{struc} é o índice de estrutura de solo;
- f_{perm} é o fator classificativo da permeabilidade do perfil;
- P_{silt} é a percentagem de silte;
- P_{clay} é a percentagem de argila.

Segundo Goldman *et al.* (1986), o parâmetro S_{struc} deve ser classificado da seguinte forma:

- 1- Solo muito fino
- 2- Solo fino
- 3- Solo granular médio a grosseiro
- 4- Para blocos ou solo compacto

Os mesmos autores definem ainda que o parâmetro f_{perm} deve ser classificado da seguinte forma:

- 1- Infiltração muito lenta
- 2- Infiltração lenta
- 3- Infiltração lenta a moderada
- 4- Infiltração moderada
- 5- Infiltração moderada a rápida
- 6- Infiltração rápida

No caso de S_{struct} foi utilizada a informação cartográfica correspondente à volumetria dos fragmentos. Foi necessário classificá-la conforme os intervalos anteriormente explicitados. Assim foi atribuído valor 1 a percentagens até 10 % dos valores totais extraídos, e valor 2 às percentagens restantes (10 a 25 %), não existindo as estruturas mais grosseiras e compactas (3 e 4).

Quanto a f_{perm} foi utilizado o mapa correspondente à percentagem de argila, partindo do princípio que solos mais argilosos irão corresponder a solos onde a infiltração é mais lenta. Assim foi necessário proceder à classificação desta cartografia de acordo com os códigos anteriormente explicitados. O mapa original foi classificado em intervalos de amplitude de 15 % da fração argilosa. Não existindo unidades com menos de 15 % de argila, foram as unidades entre os 19 % e os 30 %, que foram reclassificadas com infiltração moderada a rápida (5) e com a reclassificação de valor 4, as unidades com 31 % a 38 % verificando-se a ausência de classes com infiltração moderada-lenta a muito lenta.

Após as reclassificações foram criados os mapas de S_{struct} e f_{perm} .(Lookup).

O parâmetro f_p , resulta da conjugação de silte e argila, tendo sido obtido em duas etapas: i) primeiramente pela criação de mapas únicos com os valores de percentagem de silte e argila, separadamente (lookupPsilt e lookupPclay); ii) aplicação da expressão anteriormente referida (6) através de álgebra de mapas (*Raster Calculator*):

$$\text{"lookupPsilt"} * (100 - \text{"lookupPclay"})$$

Não havendo informação disponível acerca valor da percentagem de matéria orgânica (P_{om}), assumiu-se esta como o valor 1. Utilizando o valor 1 para toda a área em estudo, esta variável fica neutra aquando a multiplicação final.

Com todas os fatores tratados, foi possível efetuar o cálculo da erodibilidade, utilizando a seguinte expressão:

$$((2.1 * \text{Power}(10,-6)) * \text{Power}(\text{"fp"},1.14) * (12 - 1)) + (0.0325 * (\text{"struct_look"} - 2)) + (0.025 * (\text{"fperm"} - 3))$$

Os resultados obtidos pela aplicação da expressão anterior podem ser visualizados na Figura 31.

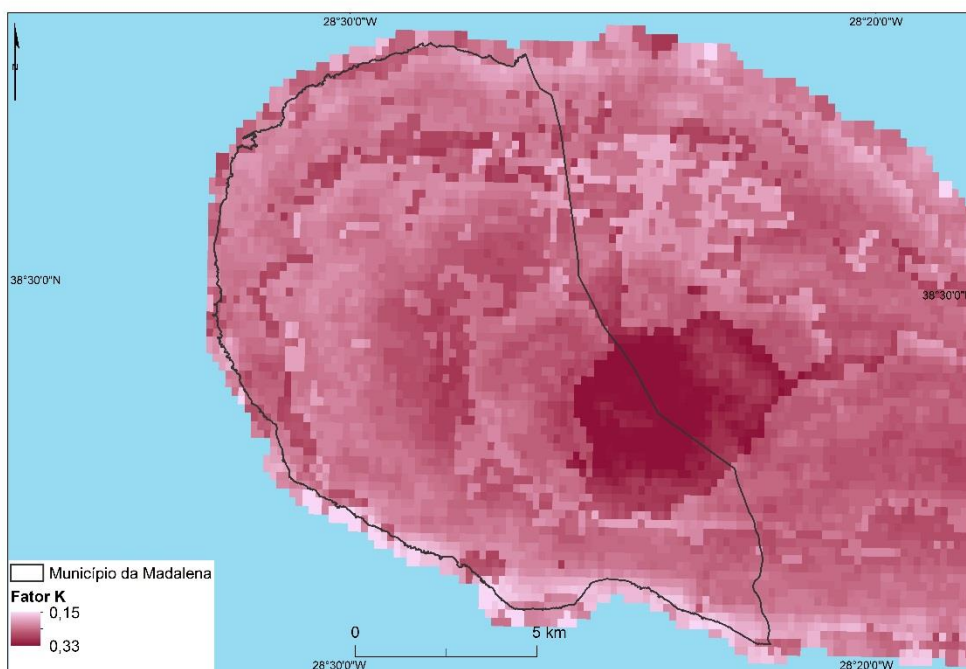


Figura 31 - Erodibilidade do solo (K) no município da Madalena

Como observado no mapa de solos derivado da informação dos esboços pedológicos, também a expressão espacial deste método apresenta uma distribuição concêntrica à volta do Pico. No entanto, considera-se que este resultado tem mais relevância do que o modelo anteriormente experimentado porque: i) apesar da resolução, tem como amostra de base informação com maior fiabilidade; ii) apesar de distribuição concêntrica, verifica-se mudanças de valor com a altitude, facto que não acontecia na classificação do tipo de solos que apresentava uma regularidade altimétrica.

5.4.3. FATOR TOPOGRÁFICO (LS)

O fator topográfico (LS) é o resultado da conjugação das variáveis: comprimento da vertente (L) e declive (S). Segundo Wischmeier & Smith (1978) este fator deve ser estudado numa parcela com 22,13 m (72,6 pés) de comprimento e um declive de 9 %, sendo esperado um rácio de solo perdido semelhante em condições de declive semelhante. Este parâmetro foi desenvolvido com base nos resultados obtidos neste tipo de parcelas que comparativamente se atribui valores de LS, através da seguinte expressão:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{72,6}\right)^m (65,41\text{sen}^2 \theta + 4,56\text{sen}\theta + 0,065) \quad (7)$$

Onde:

- λ é o comprimento do desnível em pés;
- m é o coeficiente do declive (%);
- θ é o declive em radiano.

Uma vez que a morfologia do terreno está na base do cálculo deste parâmetro a construção de um Modelo Digital de Elevação (MDE) e sua correção torna-se assim essencial como primeiro procedimento metodológico. A correção do MDE inicial foi feita a partir das ferramentas e procedimentos de análise e preenchimento (*Fill, Flow Direction, Sink*). O presente MDE foi elaborado com base em curvas de nível de equidistância 5 m (1:25 000, IGeoE) e convertido para estrutura matricial com uma célula de 5 metros.

A medição do comprimento de cada vertente e de diferentes locais numa vertente é um processo que exige alguns automatismos para que se torne exequível em áreas de estudo maiores que um estudo de caso numa vertente ou parcela. Como indicador do comprimento da vertente a montante de cada local foi utilizado o número de células acumuladas a montante desse local. Assim, foi feito um *Flow Accumulation*, com a correção de +1 de forma a eliminar áreas com valor de 0, geralmente associadas a interflúvios ou limites de área de estudo.

O procedimento anterior indica-nos então o número de células a montante de um local mas não permite efetuar a separação entre vertente (local onde a erosão hídrica do solo deve ser analisada no contexto da REN) e os fundos de vale. Neste pressuposto é então necessário efetuar esta separação. Numa primeira fase foi identificada a vertente contínua (sem quebras bruscas de declive) mais extensa, com aproximadamente 15 quilómetros, desde o Piquinho até à freguesia da Madalena. Com base nesta métrica foi reclassificado o *Flow Accumulation* de forma a considerar que todos os locais que apresentem um número de células acumuladas superior à maior vertente encontrada seja considerado fundo de vale. Este fator não está isento de problemas mas, tendo em conta que com a resolução dos dados em análise a real rugosidade da vertente não é contemplada, este procedimento pode considerar-se

como a identificação do maior comprimento de vertente potencial, logo as vertentes consideradas apresentam um comprimento por excesso quando comparadas com o valor real. Contudo, a escala de análise da informação de base, falta de imagens com pormenor suficiente e a impossibilidade de trabalho de campo não permitiram a identificação de comprimentos de vertente com maior rigor.

O cálculo do parâmetro λ foi efetuado através da seguinte expressão:

$$[\text{FLOWACC2}] \times 5 \times 3,2808399$$

Em que o valor 5 corresponde ao valor de resolução da célula e o valor 3,2808399 à constante para conversão de metros em pés.

O parâmetro m foi calculado através dos declives em percentagem gerados através do MDE, com a ferramenta *Slope*, e reclassificados de acordo com os valores estabelecidos por lei:

Quadro 9 - Reclassificação de coeficiente de declive (m) segundo o declive

Fonte: Adaptado de Declaração de Retificação N.º71/2012

Declive (%)	m
Maior ou igual a 5	0,54
Entre 3 a 5	0,40
Entre 1 e 3	0,30
Inferior a 1	0,20

O parâmetro ϑ foi gerado através dos declives em graus (*Slope*), e posterior conversão para radianos (multiplicando os declives em graus por 0,0174532925) para que fosse possível o uso de expressões trigonométricas no programa utilizado.

Assim, a primeira componente correspondente ao fator L, foi calculada pela seguinte expressão no *Raster Calculator*:

$$\text{Power}((\text{"param_}\lambda\text{"}/72.6), \text{"param_}m\text{"})$$

Para o fator S foi utilizada a seguinte expressão no *Raster Calculator*:

$$(65.41 * \text{Power}(\text{Sin}(\text{"declive_grau"} * 0,0174532925), 2)) + (4.56 * \text{Sin}(\text{"declive_grau"} * 0,0174532925)) + 0.065$$

A multiplicação destes dois fatores resulta no parâmetro LS cujos resultados se podem observar na Figura 32.

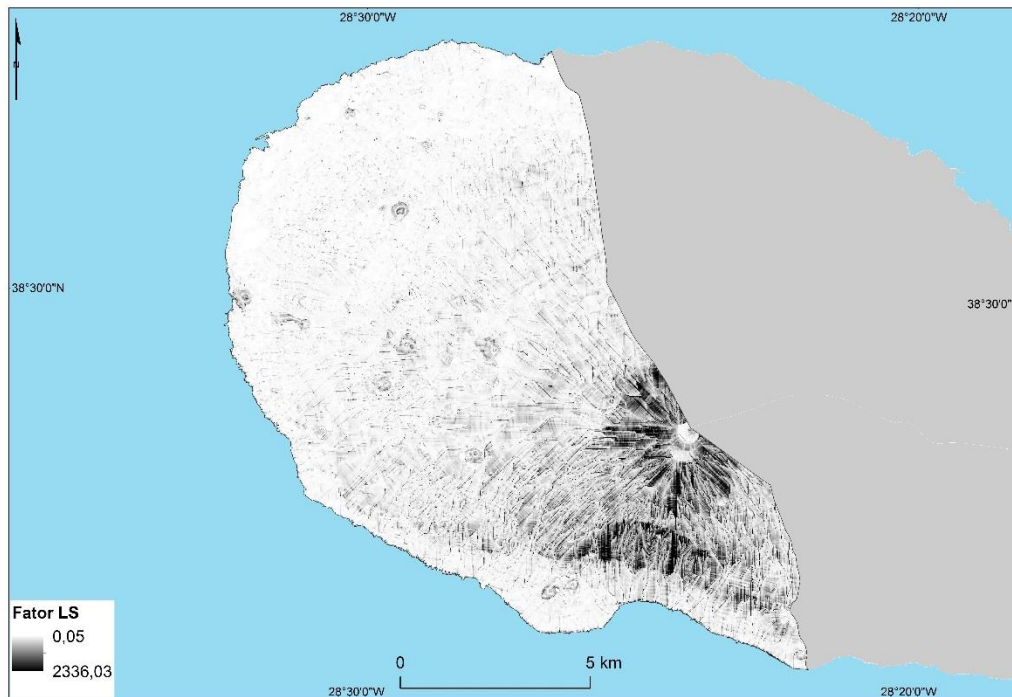


Figura 32 - Fator topográfico (LS) no município da Madalena, ilha do Pico

Na Figura 32, podemos analisar o resultado do parâmetro LS. Neste podemos identificar muito claramente a importância dos declives acentuados a sul do vulcão principal da ilha do Pico, assim como o aplanamento no seu topo. Podemos perceber que a vertente Este da montanha do pico, de maior comprimento, devido ao declive mais suave e progressivo, acaba por não apresentar valores de LS tão relevantes. Ainda assim são muito evidentes os contrastes devido aos cones de escórias em todo o município, uma vez mais associados ao declive acentuado.

5.4.4. FATOR USO DO SOLO E COBERTO VEGETAL (C)

Segundo Wischmeier & Smith (1978), o tipo de coberto vegetal e sua gestão determina o rácio de perda de solo correspondente à razão entre o quociente de perda de solo de uma parcela lavrada com determinada cultura e à perda de solo de um terreno em pousio em condições idênticas.

No presente trabalho o fator C foi baseado nos valores obtidos por Pimenta (1998a) como cartografia de base foi utilizada a combinação dos mapas do uso do solo (SRAM/DROTRH, 2007) com o inventário florestal (IFRAA, 2007), de forma a poder classificar de forma mais correta e precisa a ocupação do solo. O mapa de uso e ocupação do solo (COS) distingue, ao segundo nível, classes como pedreiras, aeródromo, área portuária, ou pomares e vinhas. O inventário florestal distingue os espaços onde estão presentes espécies de árvores que poderão ter valor de C diferente do valor geral obtido pelo uso do solo, em espaço de vegetação natural.

Assim, a base de trabalho foi naturalmente a cartografia de uso e ocupação do solo. No entanto, foi realizada uma união entre esta e a cartografia do inventário florestal, o que nos permitiu distinguir valores nos espaços de vegetação natural, florestais, pastagens e agrícolas. Deste modo, o mapa final cuja base é predominante a ocupação do solo, é sobreposto ao inventário florestal nas categorias de vegetação natural, florestal, pastagens ou agrícolas, para aumentar o seu grau de discriminação. Apesar das recomendações da CCDR-LVT (2015) sugerirem a atribuição de valor neutro a este parâmetro, no presente trabalho optou-se por considerar os valores anteriormente referidos de modo a manter a aplicação deste método o mais próximo possível do indicado na legislação vigente.

Assim, foram classificadas as seguintes classes com valores presentes no Quadro 10. O resultado desta classificação pode ser visualizado na Figura 33.

A análise do fator C indica em primeiro lugar valores muito baixos ($< 0,2$) deste parâmetro em mais de 80 % da área de estudo (Figura 34).

De facto, na Figura 33 predomina, com 42 % de representatividade, a classe correspondente a um valor de C de 0,02, valor este que é dado às pastagens e a espaços

de vegetação natural sem descrição. Esta classe está maioritariamente distribuída em torno do topo da montanha do Pico, com uma maior extensão na vertente Este.

A segunda classe dominante é a que corresponde a um valor de C de 0,1 com 39 % de representatividade. Este valor traduz a importância dos espaços florestais e, de forma mais específica, espécies como a *Acacia Melanoxylon*, a *Cryptomeria Japonica*, a *Myrica Faya* e Outras folhosas. Esta classe está maioritariamente distribuído numa faixa em torno das áreas mencionadas anteriormente. As diferentes altitudes a que estas se encontram variam entre cerca dos 300 metros de altitude no lado oeste e no lado sul entre 400 metros a 1000 metros de altitude, o que poderá indicar eventualmente uma diferença de humidade entre oeste e sul da montanha, encontrando estas espécies as suas condições favoráveis a diferentes altitudes.

Quadro 10 - Classificações do fator coberto vegetal e uso do solo (C)

Fonte: Pimenta (1998a)

Agrupamento	Descrição	Fator C*
Espaços Urbanos	Espaço Urbano Descontínuo/ Aeródromo/ Área Portuária	0,01
	Pedreiras	0,5
Espaços Industriais		0,01
Espaços Agrícolas	Sem descrição	0,3
	Pomares	0,05
	Vinhas	0,2
Pastagens		0,02
Espaços Florestais		0,1
Espaços de Vegetação Natural	Sem descrição	0,02
	Acácia - <i>Acacia Melanoxylon</i>	0,1
	Cedro-japonês - <i>Cryptomeria Japonica</i>	0,1
	Faia-das-ilhas - <i>Myrica Faya</i>	0,1
	Outras Folhosas	0,1
	Pinheiro-bravo - <i>Pinus Pinaster</i>	0,05
	Pinheiro Japonês Negro - <i>Pinus Tumbergi</i>	0,05
Incultos	Areeiros do Pico	0,01
Áreas Descobertas	Rocha-nua	0,01

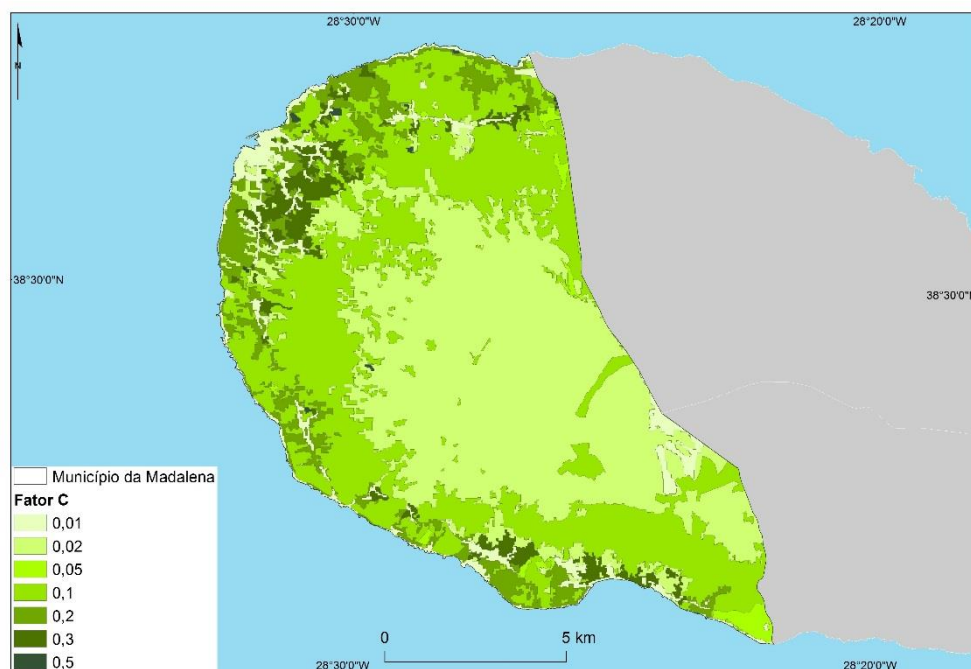


Figura 33 - Fator coberto vegetal e uso do solo (C) no município da Madalena

A classe com valor 0,2 também tem alguma relevância, com 8 % de representatividade, o que demonstra também a importância dos locais onde são cultivadas vinhas. Estas estão pontualmente presentes um pouco por todo o município.

5.4.5. FATOR PRÁTICAS CULTURAIS (P)

Segundo Wischmeier & Smith (1978), o fator P corresponde ao rácio de perda de solo sob práticas de cultivo específicas para a perda de solo correspondente ao declive de referência (9 %). Assim, este fator avalia como é que o tipo de prática cultural e intervenção antrópica (*e.g.* longitudinal ou transversal em relação ao sentido de maior inclinação da vertente) incrementam ou diminuem o potencial de erosão de um determinado local. No município da Madalena não existem informações específicas acerca das práticas de cultivo, para além do conhecimento de que as vinhas aqui cultivadas são delimitadas por “currais” de muito pequena dimensão.

Este fator necessita de muita informação específica, pelo que a declaração de retificação n.º71/2012 (retificação das Orientações Estratégicas da REN) sugere que este

seja baseado na densidade populacional dos concelhos do continente obtida através dos dados do INE. Não obstante esta recomendação, a densidade populacional não parece ser um indicador do tipo de prática cultural (conceito base associado à formulação de Wischmeier & Smith, 1978). Adicionalmente, CCDR-LVT (2015) devido à dificuldade em estabelecer unidades homogêneas de densidade recomenda a atribuição do valor de 1, fazendo com que este se torne assim um parâmetro neutro no cálculo da EUPS. Com base nestas indicações e por se considerar que a densidade populacional não poderá substituir a importância do fator P, foi atribuído o valor 1 para todo o município, seguindo as recomendações da CCDR-LVT (2015) Deste modo o resultado final da EUPS não apresenta influência deste fator e a ausência de informação não possibilita a aplicação na íntegra das orientações estratégicas da REN.

5.4.6. RAZÃO DE CEDÊNCIA DE SEDIMENTOS (SDR)

No seguimento das Orientações Estratégicas da REN (OE), após o cálculo da EUPS (A), é necessário estimar a perda de solo específico. Esta é obtida recorrendo ao produto entre A e a Razão de Cedência dos Sedimentos (SDR), que é traduzida pela seguinte expressão:

$$SDR = 0,332 A_b^{-0,2236} \quad (8)$$

Onde:

— A_b é a área de drenagem em km^2 .

Assim, com base na cartografia de células acumuladas produzida anteriormente (sem a “correção” dos fundos de vale) procedeu-se ao cálculo da área de drenagem, multiplicando este pela área da célula (25 m^2), convertida para km^2 .

O resultado desta operação 8 varia entre 0 e 1, em que 1 significa menor “proteção” ao risco de erosão hídrica. Contudo, a expressão 8, apresenta constantes adaptadas a uma resolução de cerca de 30 m, o que origina que utilizando resoluções maiores, pode acontecer que SDR apresente valores superiores a 1. Neste caso todos estes valores foram convertidos para o máximo possível, i.e. 1. Na Figura 34 pode observar a distribuição espacial de SDR.

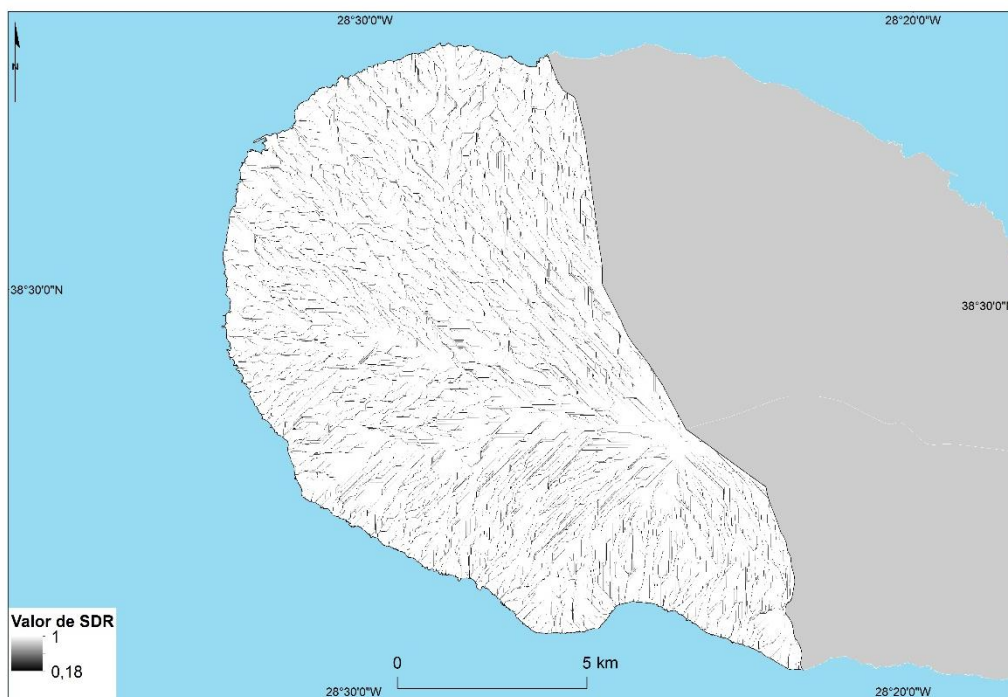


Figura 34 - Razão de cedência de sedimentos (SDR) no município da Madalena

5.4.7. PERDA DE SOLO ESPECÍFICO

A perda de solo específico (PSE) resulta assim da conjugação da EUPS e de SDR determinada a partir da seguinte equação:

$$PSE = SDR \times A \quad (9)$$

Assim, o mapa resultante de A foi multiplicado pelo mapa resultante do cálculo de SDR (*raster calculator*), e seguidamente classificado de acordo com os limites indicados na declaração de retificação n.º 71/2012 (Quadro 11). A classificação resultante é qualitativa e atribui 3 graus de risco de erosão hídrica como expresso no Quadro 11:

Quadro 11 -Classes de perda de solo específico segundo orientações estratégicas da REN

Fonte: Extraído De Declaração De Retificação N.º71/2012

Perda de solo específico ton/ha.ano	Avaliação do Risco
Entre 0 a 25	Baixo
Entre 25 a 55	Médio
Maior ou igual a 55	Elevado

De acordo com as OE são incorporados na REN os locais que estão sob risco elevado de erosão, isto é, onde a Pse é maior ou igual a 55 toneladas por hectare por ano.

5.4.8. A GENERALIZAÇÃO DE MAPAS

Da aplicação da metodologia proposta pelas OE o mapa obtido (Figura 35) apresenta uma falta de uniformização e homogeneidade. De facto, para além das dificuldades de visualização, por haver uma dispersão de manchas com dimensões muito reduzidas, que na realidade não apresentam importância significativa para a delimitação da RE a existência de manchas desta dimensão torna de extrema dificuldade a implantação no terreno de medidas de planeamento e regulamentação, não garantindo continuidade, homogeneidade ou equidade no território. Por tal, a CCDR-LVT propõe que os resultados obtidos sejam sujeitos “a processos de generalização tendo por referência o valor de área de 1 hectare.” (2015:108).

Assim, e seguindo esta norma, procedeu-se a um processo de generalização multi-faseado. Estes procedimentos foram construídos no *modelbuilder*, uma aplicação do ArcGis que utiliza linguagem de programação visual para a construção de fluxos de trabalho de geoprocessamento (Figura 36 e Figura 37).

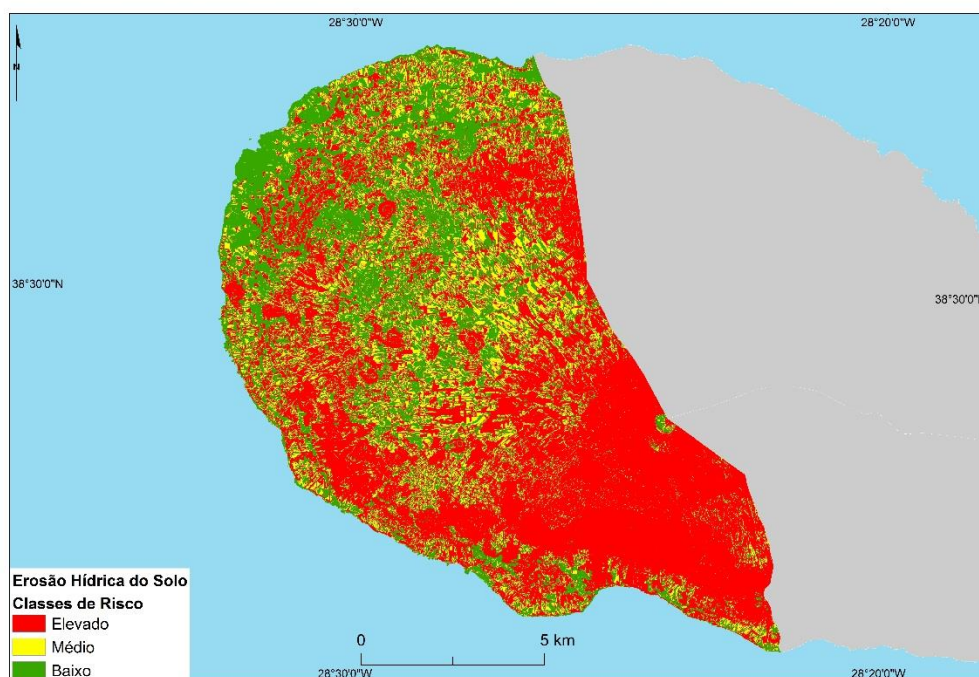


Figura 35 – Classificação de perda de solo específico (PSE) no município da Madalena (Pré Generalização)

Primeiramente procedeu-se à identificação de “regiões” homogêneas (*Region Group*). Este processo permite o registo, para cada célula de saída, da identidade da região associada à qual pertence, atribuindo um código único a cada região. Após este procedimento, foram então extraídas as áreas com mais de 1 hectare, isto é, com mais de 400 células de 5 por 5 m, de forma a eliminar as áreas com dimensão menor ao valor de referência de 1 hectare. O preenchimento das áreas com menos de um hectare, foi efetuado através da função *nibble*, ferramenta que preenche as áreas em falta com uma máscara, utilizando o método do vizinho mais próximo. A máscara utilizada foi o resultado do *Region Group* efetuado anteriormente.

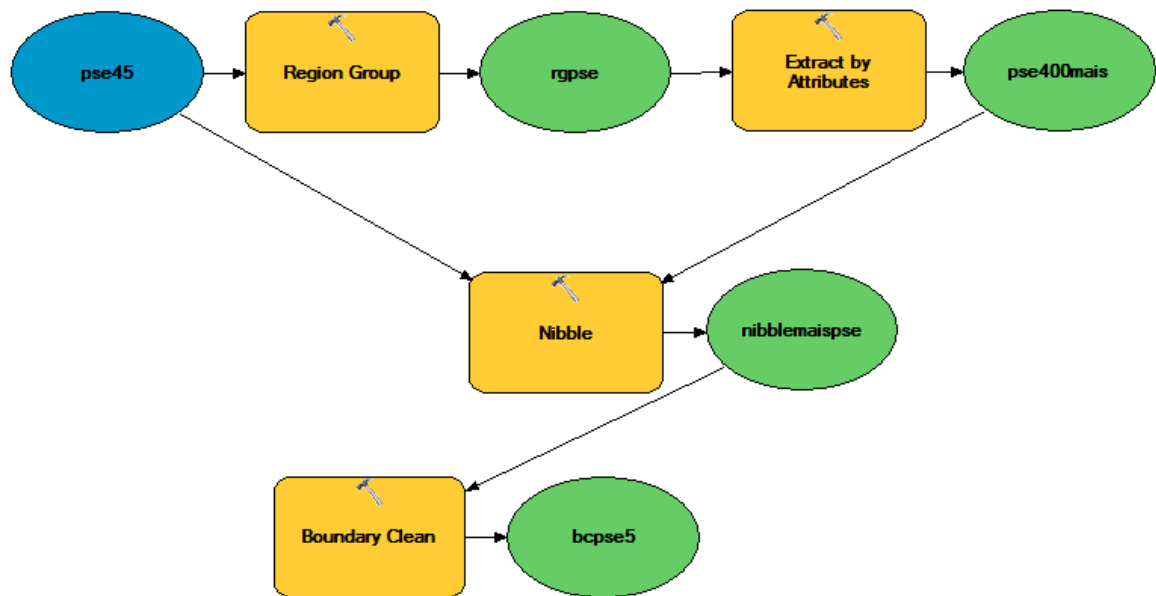


Figura 36 - Modelbuilder: Esquema de geoprocessamento de generalização (Etapa 1)

Após o preenchimento de áreas de menor dimensão foram ainda suavizados os limites entre as diferentes “regiões” (*Boundary Clean*) para que as diferentes manchas não apresentem nos seus contornos arestas vivas que são fruto da modelação em estrutura matricial (Figura 37). No entanto, ainda foi necessário outro processo de generalização dos resultados obtidos pois haviam muitas áreas com um número diminuto de pixéis, o que não faria sentido pensando na homogeneidade e equidade entre locais integrados na REN. Nesta situação utilizou-se a ferramenta *Majority Filter* que substitui as células de uma *matriz* com base na maioria das células contíguas adjacentes. Adicionalmente, foi utilizado o iterator *For* para que este processo fosse realizado dez vezes e ainda o *wild-card %n%* para que os ficheiros não ficassem com o mesmo nome, acrescentando assim automaticamente o número igual à ordem pela qual o processo foi executado. O esquema deste modelo pode ser visualizado na Figura 37.

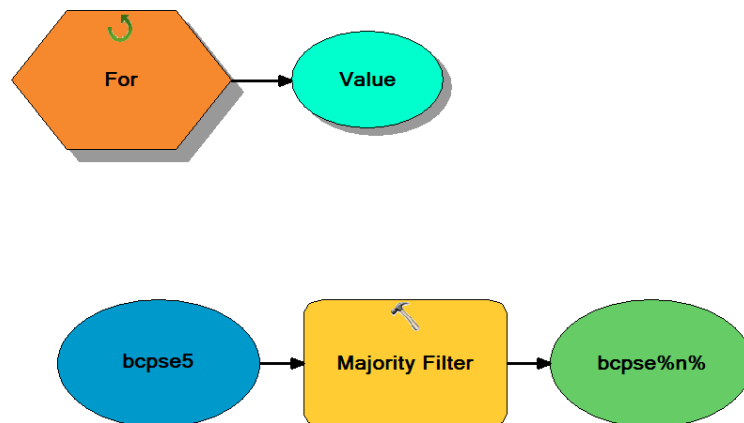


Figura 37 - Modelbuilder: Esquema de geoprocessamento de generalização (Etapa 2)

Estes processos permitiram um resultado com uma aparência mais limpa e também com uma maior relevância para a delimitação da RE, uma vez que torna as áreas muito mais homogêneas e por terem maiores dimensões permitem, não só a sua melhor identificação no território como uma maior homogeneidade entre áreas contíguas (Figura 38). Apesar dos processos de generalização transformarem os resultados de base do modelo as diferentes generalizações mantêm sem alterações muito significativas.

Com a generalização efetuada, as alterações ao peso de cada uma das classes pode considerar-se aceitável, com a classe de risco elevado a aumentar apenas 3,63 % de área como se pode verificar no Quadro 12.

Quadro 12 - Diferenças de área ocupada por cada classe antes e depois de generalização

	Sem Generalização (%)	Com Generalização (%)	Diferenças (%)
Elevado	54,79	62,30	7,51
Médio	18,33	7,26	-11,06
Baixo	26,88	30,43	3,55

A classe de risco médio apresenta a maior diferença, com -11,06%, perdendo esta diferença para a classe de baixo risco. Assim, apenas seriam inseridos na REN mais

7,51 %, o que no contexto do território municipal não é muito significativo, tendo em conta o benefício que a homogeneização do território trás para a sua gestão.

Na Figura 38 é apresentado o resultado final da classificação da PSE no município da Madalena. Considerando que apenas a classe de risco elevada se insere no contexto da REN, pode-se verificar que 62 % do território é considerado território com risco de erosão hídrica. Este é maioritariamente distribuído nas vertentes mais próximas da montanha do Pico, destacando-se o lado sul desta.

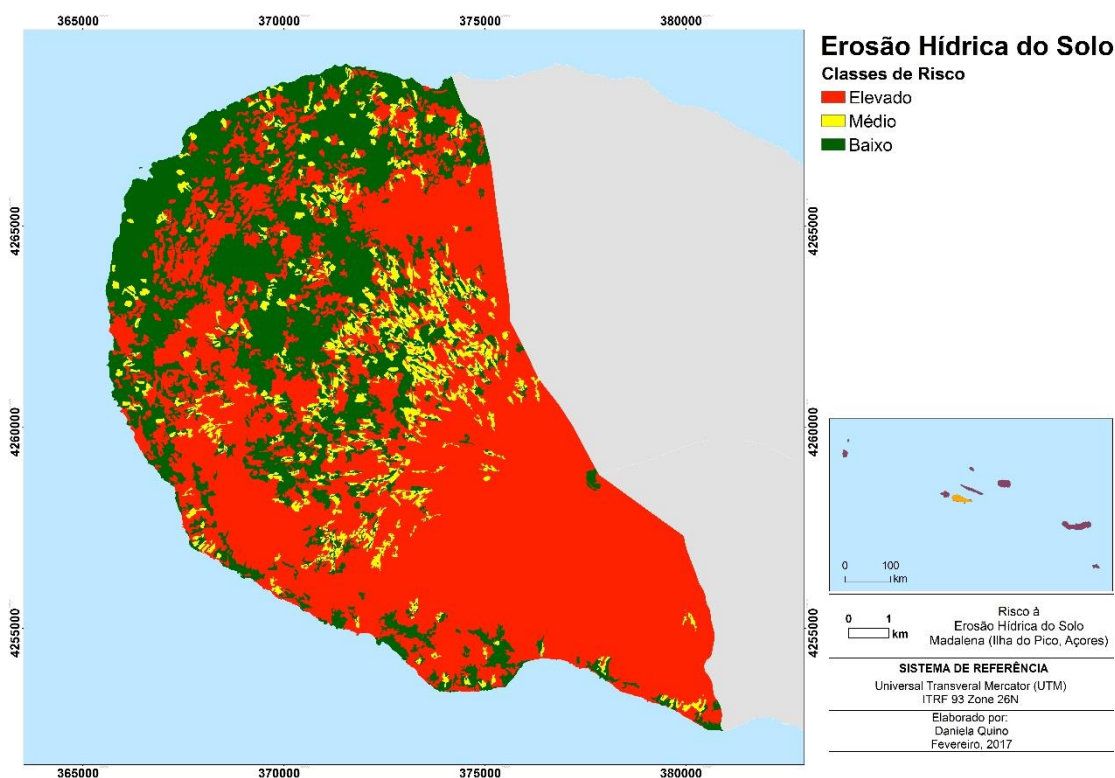


Figura 38 - Classificação de perda de solo específico (PSE) no município da Madalena (Com Generalização)

Vê-se claramente a influência que o relevo (fator LS) tem nesta equação, pois além de sabermos que o lado sul da montanha é onde este é mais elevado, também é de reparar na sua influência na demarcação dos cones de escórias que também apresentam-se como classe elevada de risco à erosão hídrica do solo. Na classe elevada, também pesam outros fatores, como o fator K e o fator R, que apresentam valores superiores em torno da montanha do Pico.

A transição entre a classe elevada e a classe baixa é maioritariamente feita de forma imediata, sem haver uma fase onde é considerado um risco médio à erosão hídrica do solo, pelo que os limites de classes propostos na legislação poderão não ser os mais adequados a esta realidade.

5.5. COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS

Após a experimentação da metodologia atualmente utilizada pelos Planos Diretores Municipais na delimitação da Reserva Ecológica Regional, nomeadamente o método presente no PGRH, e da metodologia presente na Declaração de Retificação n.º 71/2012, avaliando a PSE com base na combinação da EUPS e SDR, foram identificadas as áreas que seriam integradas na RE, correspondente às áreas de risco alto e muito alto de erosão hídrica do solo. Adicionalmente, e para que fosse possível melhor comparar os resultados obtidos em ambas as metodologias foi necessário classificar em 5 classes o mapa resultante da aplicação da Declaração de Retificação n.º 71/2012, que segundo esta apenas apresentava as 3 classes anteriormente descritas (Quadro 11).

Os intervalos considerados para este foram:

- 0-10, correspondente a um risco baixo;
- 11-25, correspondente a um risco moderado;
- 26-55, correspondente a risco médio;
- 56-75, correspondente a um risco alto;
- Superior a 75, correspondente a um risco muito alto.

Estes intervalos foram assim determinados de forma a respeitar ambas as metodologias. Os primeiros dois intervalos anteriormente descritos, segundo a metodologia presente na Declaração de Retificação n.º 71/2012, seriam considerados de risco baixo, o terceiro de risco médio e os dois últimos de risco elevado. Assim, foram apenas subdivididas as primeira e as últimas classes presentes na Declaração de Retificação n.º 71/2012, de forma a ser mais observáveis as diferenças que se verifiquem dentro destas. Os intervalos foram também definidos com base no Guia Metodológico para a delimitação

da Reserva Ecológica Nacional (2015), onde é sugerido que “sem prejuízo da apresentação de cartas” os limites 11, 25 e 55 (ton/ha.ano) também são legítimos.

Adicionalmente, procedeu-se a uma generalização do mapa final de erosão hídrica do solo pela metodologia do PGRH como a que foi realizada para o mapa final da RE, descrita no ponto anterior, resultando na Figura 40.

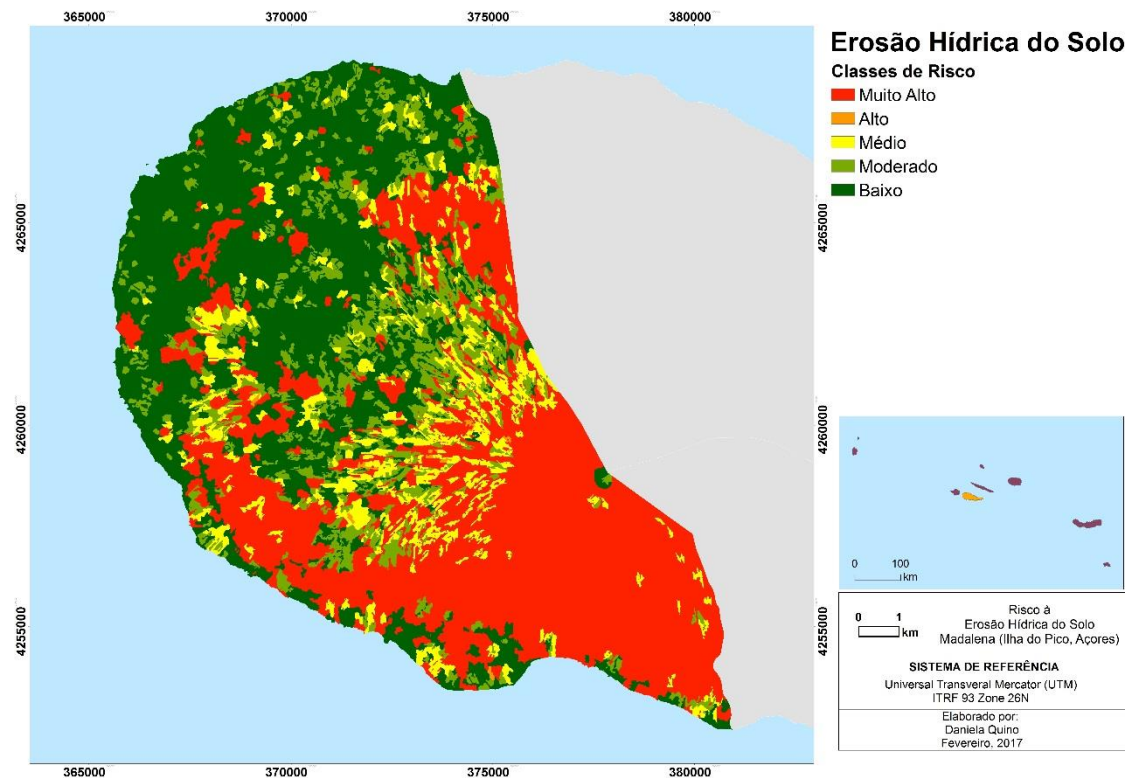


Figura 39 - Classificação de perda de solo específico (PSE) no município da Madalena (Metodologia PSE – 5 classes generalizada)

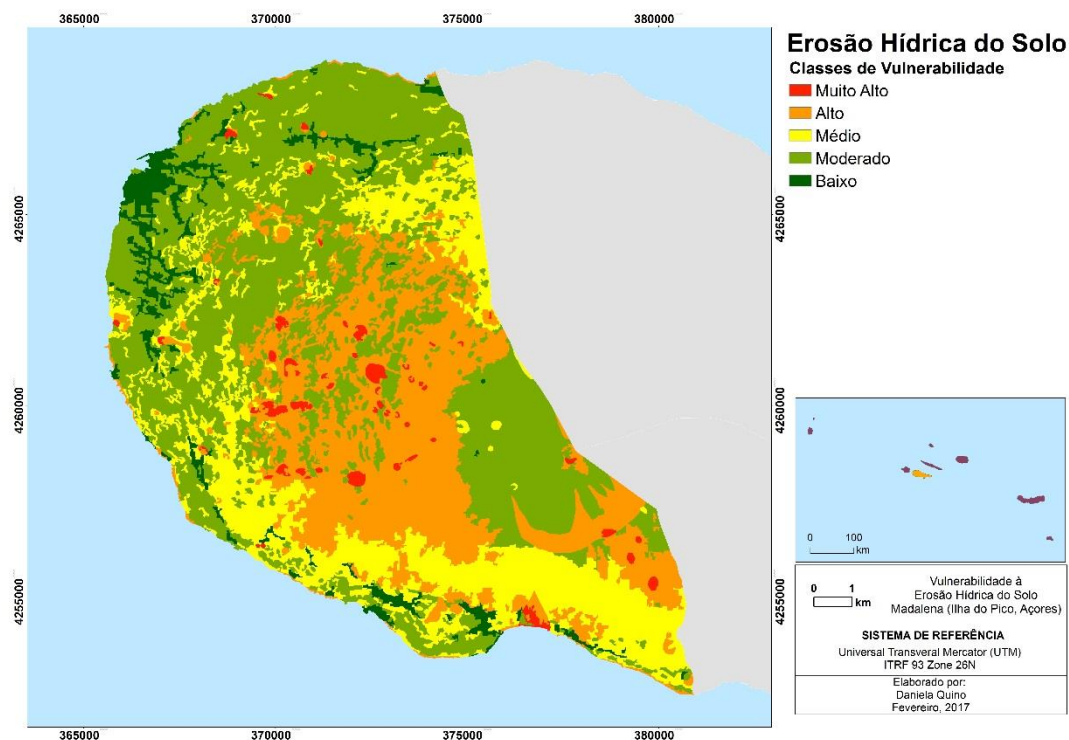


Figura 40 – Erosão hídrica do solo no município da Madalena (Metodologia PGRH generalizada)

Após a uniformização dos procedimentos de generalização foram então sobrepostos os resultados das classes de risco mais elevado (Alto e Muito alto) que seriam integrados na REN, para ser feita uma comparação entre as duas metodologias (Figura 41).

O resultado desta sobreposição evidência a diferença de resultados entre as duas metodologias já visível da observação visual entre a Figura 39 e Figura 40. De facto só 13 % da área integrada na RER se sobrepõe entre metodologias.

Não havendo forma de verificação e validação no terreno não se pode afirmar com certeza qual destes dois métodos se adequa melhor à realidade da ilha do Pico.

Enquanto a avaliação da PSE origina que cerca de 56 % do território esteja sob legislação de proteção da RE, a análise proposta no PGRH apenas insere 29 % sob a mesma jurisdição. Estas diferenças entre metodologias são muito elevadas, pelo que sabendo que atualmente o método do PGRH é o considerado para a delimitação da RE, pode-se estar a ignorar cerca de 27 % do território que necessita de proteção.

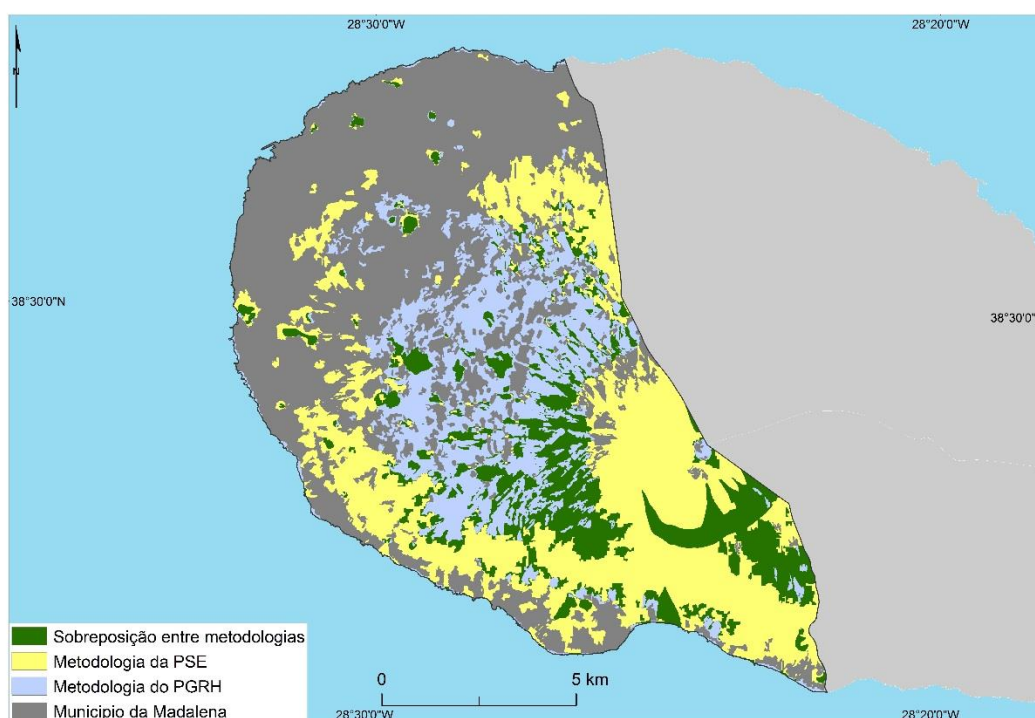


Figura 41 - Comparação de áreas integradas na Reserva Ecológica segundo diferentes metodologias de análise de risco à erosão hídrica do solo no município da Madalena

Há mais diferenças de distribuição espacial entre métodos do que semelhanças. O PSE dá importância a toda a montanha do Pico e às suas vertentes, enquanto o PGRH apenas dá importância às vertentes mais afastadas do topo da montanha e principalmente do lado Este, embora apresente uma classe de risco muito alto consideravelmente inferior. De facto, a metodologia PSE dá muita importância às classes extremas, o que não acontece no método do PGRH (Quadro 13).

Quadro 13 – Importância das classes de risco de erosão hídrica do solo, segundo os modelos PGRH e PSE, no município da Madalena (ilha do Pico)

	PGRH	PSE
Baixo	4,49	36
Moderado	44,75	13,31
Médio	21,77	9,44
Alto	27,51	0,24
Muito Alto	1,48	41,01

No entanto, ambos os métodos (Figura 40 a Figura 42) coincidem no risco elevado na vertente sul, onde a classe litológica é de natureza suscetível à erosão (formações de vertente), integrando-a na RE. O método do PSE apresenta um risco elevado espacialmente mais contínuo, enquanto o método do PGRH apresenta menos ligação entre áreas com este nível de risco de erosão hídrica do solo. Há ainda a verificar a concordância entre modelos em vários pontos que são coincidentes com os cones de escórias.

Contudo, o que sabemos é que a metodologia utilizada pelo PGRH se baseia em algumas variáveis que poderão ser menos influentes na suscetibilidade à erosão hídrica do solo potencial, não havendo, por exemplo, uma verdadeira variável que traduza as características dos solos. Já a metodologia da PSE, com a introdução do fator K, resolve este problema de forma mais competente, embora com a resolução não seja a ideal.

A erosividade da precipitação, considerado por muitos autores como um dos fatores mais importantes por ser diretamente proporcional e constante em relação à perda de solo, na metodologia do PGRH fica aquém das expectativas, pois utiliza apenas a densidade de drenagem como indicador, enquanto na metodologia da PSE se conseguiu a erosividade da precipitação através de um modelo mais explicativo desta variável, nomeadamente através do modelo de Bertoni e Lombardi Neto (1990), e que tem como base valores de precipitação.

Para uma análise mais completa, foi realizada uma tabela de concordâncias entre os resultados das metodologias utilizadas por classes (Quadro 14).

Quadro 14 - Tabela de concordâncias entre as metodologias utilizadas (%)

	PSE					
		1	2	3	4	5
PGRH	1	4,26	0,03	0,01	0,00	0,16
	2	23,43	6,42	3,58	0,08	11,23
	3	2,53	0,89	1,48	0,03	16,85
	4	5,44	5,81	4,25	0,12	11,89
	5	0,34	0,14	0,12	0,00	0,88

No Quadro 14, podemos primeiramente analisar a sua diagonal central, que representa onde as duas metodologias concordam na classificação em cada classe de risco de erosão. Esta sobreposição perfaz um total de cerca de 13 % onde estes dois métodos concordam na sua classificação. Este valor reforça as diferenças já acima mencionadas entre as classificações das duas metodologias. Adicionalmente, analisou-se qual a sobreposição de mapas considerando uma tolerância de classificação de uma classe imediatamente acima ou abaixo, i.e., tentar perceber se a falta de concordância entre mapas se podia dever à falha de classificação com apenas um nível de diferença. Esta soma deu um valor de 57 %, o que denota que mesmo que não concordante, o que acontece entre estas metodologias é que as diferenças entre as mesmas estão distribuídas pelas classes mais próximas.

De qualquer modo, não se pode dizer que uma das metodologias é superior à outra. No entanto, pode-se afirmar que o tipo de variáveis de entrada da metodologia proposta na legislação da RE parece ser mais explicativa do fenómeno em análise do que as variáveis utilizadas para a metodologia do PGRH.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira há muito esperam diploma próprio para a delimitação da Reserva Ecológica Regional. A lei da REN diz-nos que enquanto se espera por tal diploma próprio se deve seguir a metodologia proposta para o território continental.

No caso da Região Autónoma dos Açores, a dificuldade na aplicação da metodologia presente na Declaração de Retificação n.º 71/2012 é acrescida pela falta de informação de base que esta considera essencial para a delimitação da RE.

Estes territórios insulares têm características físicas, socioeconómicas e institucionais muito específicas e diferentes do território continental, pelo que é urgente que se aprove legislação com orientações metodológicas específicas que atendam a estas especificidades.

Embora tentando ir de encontro às necessidades atuais para o apoio à delimitação da REN nos Açores, as Orientações Metodológicas para a delimitação da RE – PDM na Região Autónoma dos Açores, publicado em fevereiro de 2015, ficam muito aquém das expectativas no que toca a opções para substituir a informação de base em falta. É certamente do conhecimento da Secretaria Regional da Agricultura e Ambiente a falta da cartografia de base explicitada como necessária para a delimitação do risco de erosão hídrica do solo na Declaração de Retificação n.º 71/2012. No entanto, o documento das Orientações Metodológicas para a delimitação da RE – PDM não sugere alternativas. Este facto é compreensível em termos de legislação onde se deve procurar que seja aplicado o melhor método possível, mas em termos práticos a falta de sugestões alternativas pode criar um impasse para a aplicação da RE ou levar a situações de desigualdade em territórios com características idênticas.

Assim, considera-se que estes territórios há muito negligenciados, deverão ter um investimento no que toca à produção de cartografia de base como uma das grandes prioridades do país e das regiões autónomas. Estes elementos são de urgência máxima para que o ordenamento possa servir os habitantes da melhor maneira.

A metodologia utilizada pelo PGRH, que por falta de informação geográfica de base, é utilizado para a delimitação destas áreas no momento de revisão de Planos Diretores Municipais na RAA tem alguns problemas de base. Primeiramente tem um elevado grau de generalização e subjetividade, resultado das várias reclassificações que este vai sofrendo ao longo da sua aplicação, forçando uma variação entre 1 e 5. Acresce ainda a este um problema que advém da falta de informação de base, sendo uma metodologia para a avaliação do risco de erosão hídrica do solo, que não tem uma variável que realmente traduza os tipos de solos existentes na área em estudo. Por fim, a cartografia de base que este utiliza tem pouco pormenor, o que à escala municipal é de extrema importância, podendo os resultados não ter a fiabilidade necessária e por tal tornarem-se pouco úteis ao ordenamento do território à escala municipal.

Em termos de exposição de metodologia para a delimitação do risco de erosão hídrica do solo e áreas a integrar na REN, as Orientações Estratégicas e o Guia metodológico para delimitação da Reserva Ecológica Nacional em Lisboa e Vale do Tejo são explícitos no que é necessário e nos processos a cumprir, caso o território em análise se situe no continente. Contudo, nada é indicado quando a cartografia de base é inexistente deixando assim que cada município possa utilizar uma metodologia diferenciada, o que poderá ferir a equidade e homogeneidade intermunicipal que se pretende com esta figura legislativa.

A determinação do fator R no território nacional continental, a Declaração de Retificação n.º 71/2012 indica-nos as estimativas efetuadas pelo INAG, publicadas por Brandão (2006). Estas estimativas não estão desenvolvidas para as Regiões Autónomas. Assim, recorrendo ao método descrito no capítulo 5.4.1., embora obtendo dados essenciais para obtermos a distribuição espacial de R, esta deve ser considerada como uma abordagem inicial uma vez que ainda possui algumas limitações. A distribuição das estações, a falta de dados de precipitação em geral e no particular precipitação horária, são lacunas que afetam o resultado final do parâmetro R. No entanto, a metodologia utilizada tenta colmatar estes problemas com a interpolação dos dados de precipitação e a sua derivação com a altitude, o que poderá auxiliar à mitigação dos problemas em termos de valores obtidos, mas, sobretudo, nos contrastes espaciais observados na área em estudo.

Quanto ao fator K, não existe informação geográfica de base necessária, leia-se carta de solos. Mesmo que esta existisse, Pimenta (1999) não especifica valores de K para solos com características tão específicas como os que ocorrem na ilha do Pico, como são exemplo os andossolos (Pinheiro *et al.*, 2001). A alternativa encontrada foi elaborada com base na informação sobre solos disponível em soilgrids.com (ISRIC, 2016). Esta, no entanto, apresenta alguns problemas, nomeadamente a fraca resolução do mapa, especialmente flagrante para trabalho à escala municipal, e também o facto de ser uma extrapolação mundial construída através do repositório de perfis de solo internacionais e através da covariação de cerca de 75 variáveis ambientais globais.

O fator LS, embora seja um dos poucos fatores com informação de base para ser trabalhada, pode estar sobrevalorizado, pois o cálculo foi realizado com base na medição da vertente máxima com 15 quilómetros, o que é uma aproximação do valor real por excesso. Este facto torna-se mais importante quando se verifica que este é um dos fatores mais relevantes no cálculo da Perda Específica do Solo. Não obstante, parece ser o declive o parâmetro mais relevante o que mitiga a influência dos erros associados à de dimensão da vertente.

O fator C, correspondente ao coberto vegetal, tem por base informação datada de 2007. Em sete anos muito deste coberto pode ter mudado, pelo que este é uma das bases de informação geográfica que exige constante atualização e confirmação de dados através de trabalho de campo, algo impossível para o tempo de trabalho de um relatório de estágio.

Ainda de referir o fator P, em que se assumiu o valor de 1 na equação final por falta de dados como manda a metodologia da EUPS de Wischmeier & Smith (1965), i.e. práticas culturais. Embora a Declaração de Retificação n.º 71/2012 indique que deve ser utilizada a densidade populacional como indicador deste fator, optou-se pelas orientações metodológicas da CCDR-LVT, que indica que se deve utilizar o valor 1, i.e., manter a variável neutra. De facto, a variável de densidade populacional, especialmente neste contexto da ilha do Pico, não traduz a importância das práticas culturais. A utilização do valor 1 pode resultar na sobrevalorização em relação ao que realmente se verifica, pois este valor indica que não há qualquer proteção em qualquer parte do município.

Os fatores C e P são fatores muito mutáveis no tempo pelo que apenas deveriam ser incluídos numa metodologia tão restritiva e importante para o ordenamento do território caso houvesse um compromisso de esta ser “frequentemente” atualizada. Isto seria provavelmente utópico, especialmente considerando que falamos nas regiões autónomas onde parte da cartografia de base está por concluir. Assim, uma solução seria a utilização de valores neutros para estes fatores, que, no entanto, teria de ser acompanhados de uma revisão dos limites de classes de risco à erosão hídrica do solo a utilizar, uma vez que se passaria a tratar da erosão hídrica potencial e não a real como as Orientações Estratégicas indicam.

O método presente na Declaração de Retificação n.º 71/2012 não tem, igualmente, em conta territórios em que os solos poderão estar cobertos de neve, como o topo da montanha do Pico, em determinadas épocas do ano. Estes solos não teriam condições ideais para se desenvolverem por um lado, mas por outro podem estar mais protegidos da erosão, nos períodos de temperaturas mais baixas. Adicionalmente, os solos em áreas muito elevadas e como flutuações de temperatura elevadas poderão estar sujeitos a outros fenómenos não contemplados nesta metodologia como por exemplo a crioclastia e hidroclastia, que os podem fragilizar e consequentemente mais vulneráveis a este fenómeno. Outros factos não considerados são, por exemplo, a ausência de informação cartográfica pormenorizada dos locais com inexistência de solo, i.e., rocha nua, que poderá diminuir consideravelmente a porção de área a integrar ou a não inclusão do parcelamento (currais), situação que influencia consideravelmente o escoamento superficial e consequentemente a erosão hídrica do solo. Uma solução para esta falta de dados poderá estar na fotointerpretação de imagens de satélite com alta resolução, que permita incrementar a qualidade do mapa de uso e ocupação do solo e deste modo influenciar os resultados de vários parâmetros como a erodibilidade (K rocha nua), o comprimento de vertente (L), tipo de coberto (C) e inserção do parâmetro referente às práticas agrícolas.

As metodologias apresentadas são a chave de um ordenamento e conservação do território, sendo que devem ser utilizadas como informação guia para um bom planeamento municipal. Contudo, a sua utilização deve ser bem ponderada e avaliada uma vez que os resultados da sua aplicação são consideravelmente díspares e a falta de

dados de campo para avaliar qual a melhor metodologia não permite a indicação de qual a melhor opção de modo cientificamente suportado, pelo que se poderá estar a restringir o uso de um território inadequadamente.

De facto, enquanto a metodologia do PSE nos dá cerca de 62 % de áreas integradas na REN, a metodologia do PGRH apenas integra 29 % do território. Não obstante, a metodologia indicada nas Orientações Estratégicas parece ter como suporte parâmetros cientificamente mais indicados, mas por vezes inexistentes em termos cartográficos na Região. Esta situação leva assim a que a colmatação destas falhas seja uma prioridade para que o ordenamento e planeamento sejam realizados de modo mais efetivo e com consequências benéficas para o território e seus habitantes. Não sabendo qual a metodologia mais correta e sem diploma próprio que adequa metodologia abordagem às especificidades destes territórios, os municípios na Região autónoma dos Açores estão fragilizados, causando injustiça tanto entre municípios como entre as Regiões Autónomas e o Continente. Uma solução para este problema metodológico e de falta de dados pode passar por utilizar parte da equação universal do uso do solo, excluindo fatores tão mutáveis como P e C, passando-se a avaliar a erosão hídrica potencial, que em termos práticos de ordenamento do território a médio e longo prazo será mais indicada que a erosão real, uma vez que esta apenas apresenta o risco de erosão no momento dos levantamentos cartográficos de P e C. Ainda a acompanhar esta adaptação, dever-se-ão adequar os intervalos de classificação do que deve integrar a RE, valores que parecem não estar adequados à realidade das Regiões.

A solução é “simples”, e muito esperada: diploma próprio e adaptado às Regiões Autónomas para que se atinja uma melhor equidade territorial.

REFERÊNCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, E. B., (1996). Modelação do Clima Insular à Escala Local. Modelo CIELO aplicado à ilha Terceira. (Tese de Doutoramento). Universidade dos Açores, Portugal.
- Baubron, J.C., Allard, P., Sabroux, J. C., Tedesco, D., Toutain, J.P. (1991). Soil gas emanations as precursory indicators of volcanic eruption, *Journal of Geology Society*. 148. London.
- Bennet, H.H., Chapline, W.R. (1928). Soil Erosion: A National Menace. United States Department of Agriculture, Washington D.C.
- Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. (1990). Conservação do Solo. São Paulo: Icone Editora.
- Bettencourt, M.L. (1979). O clima dos Açores como recurso natural, especialmente em agricultura e indústria de turismo. *O Clima de Portugal*. 18. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Lisboa.
- Beven, K., Freer, J. (2001). A dynamic TOPMODEL. *Hydrological Processes*. Volume 15. Issue 10. 1993-2011
- Brandão, C., Rodrigues, R. (2006). Potencial Erosivo da Precipitação e seu efeito em Portugal Continental. Instituto da Água. *Revista Recursos Hídricos*, Volume 27, nº2, 79-86.
- Browning, G.M., Parish, C.L., Glass, J.A. (1947). A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in control of soil erosion in Iowa. *Soil Science Society of America Proceedings* 23
- Cancela d'Abreu, A., Moreira, J. M., Oliveira, R. (2005). Livro das Paisagens dos Açores. Identificação e Caracterização da Paisagem dos Açores. Secretaria Regional do Ambiente e do Mar. Ponta Delgada.
- CCDR-LVT (2015). Guia metodológico para delimitação da Reserva Ecológica Nacional em Lisboa e Vale do Tejo. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional-Lisboa e Vale do Tejo.
- CEC (2006). Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee

- of the Regions - Thematic Strategy for Soil Protection. Commission of the European Communities. Bruxelas.
- Chovelon, P. (1982). Évolution volcanotectonique des îles de Faial et de Pico, Archipel des Açores - Atlantique Nord. (Thèse de Docteur 3ème Cycle). Université de Paris-Sud, Centre D'Orsay. França.
- Cruz, J.V. (1995). Estudo hidrogeológico da ilha do Pico (Açores – Portugal). (Tese de Doutoramento). Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, Portugal.
- De Roo, A.P.J., Wesseling, C.G., Ritsema, C.J. (1996a). LISEM: a single event physically-based hydrologic and soil erosion model for drainage basins: I. Theory, input and output. *Hydrological Processes* 10 8. 1107–1117
- Desmet, P. J. J., Govers, G. (1996) Comparison of routing systems for DEMs and their implications for predicting ephemeral gullies. *International Journal of Geographical Information Science* 10.
- DRA (2015). Orientações Metodológicas Delimitação da RE - PDM Região Autónoma dos Açores. Direção Regional do Ambiente.
- DROTRH (2001). Plano Regional da Água - Relatório Técnico - Versão para Consulta Pública. Ed. Secretaria Regional do Ambiente, Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos.
- ESB (2001). Office for Official Publications of the European Communities. European Soil Bureau. Luxembourg.
- Feraud, G. (1977). Contribution à la Datation du Volcanisme de l'Archipel des Açores par la Méthode Potassium-Argon. Conséquences Géodynamiques. (Tese de Doutoramento). Universidade de Paris. França.
- Feraud, G., Kaneoka I., Allègre C.J. (1980). K/Ar ages and stress pattern in the Azores: geodynamic implications. *Earth and Planetary Science Letters*. Volume 46, Issue 2, 275-286.
- Flanagan, D.C., Gilley, J.E., Franti, T.G. (2001). The Water Erosion Prediction Project (WEPP) Landscape Erosion and Evolution Modeling. Kluwer Academic/Plenum. Publishers, pp. 145–199 (Chapter 7). New York.
- Goldman, S.J., Jackson K., Bursztynsky T.A (1986). *Erosion and Sediment Control Handbook*. McGraw-Hill, New York.

- Imerson, A., Curfs., M. (s.d.). Erosão do Solo. Land Care in Desertification Affected Areas. Série do Fascículo: B, Número: 1.
- ISRIC (2016). ISRIC - World Soil Information. <http://www.isric.org/> [Acedido pela última vez a 26 de novembro de 2016]
- ISRIC (2016). Sistema de Predição de dados acerca de propriedades dos solos. <https://www.soilgrids.org> (Acedido pela última vez a 26 de novembro de 2016).
- Jenny, H. (1941). Factors of soil formation. A System of Quantitative Pedology McGraw-Hill. New York.
- Jones, R.J.A., Verheijen, F.G.A., Reuter, H.I., Jones, A.R. (2008). Environmental Assessment of Soil for Monitoring: Volume V. Procedures and Protocols. Office for the Official Publications of the European Communities. Luxembourg.
- Kirkby, M., Jones, R.J.A., Irvine, B.J., Gobin, A., Govers, G., Cerdan, O., Van Rompaey, A.J.J., ..., Hunting, J. (2003). Pan-European soil erosion risk assessment: The PESERA Map, Version 1.
- Knisel, W. G., Leonard, R. A., Davis, F. M., Sheridan J. M (1991). Water balance components in the Georgia Coastal Plain: A GLEAMS model validation and simulation. 46(6):450-456.
- Lal, R., Shukla M. (2004). Principles of Soil Physics. Marcel Dekker, New York, 716 pp.
- Machado, F. (1956). O vulcão da ilha do Pico. Boletim do Núcleo Cultural da Horta 1; 37-45.
- Madeira, J. (1998). Estudos de neotectónica nas ilhas do Faial, Pico e S. Jorge: Uma contribuição para o conhecimento geodinâmico da junção tripla dos Açores. Tese – Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Portugal.
- Madeira, M. (1980). Esboço Pedológico da Ilha da Santa Maria (Açores). Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica.
- Madruga, J., Azevedo, E. B., Sampaio, J. F., Fernandes, F., Reis, Pinheiro, F.J. (2015). Analysis and definition of potential new areas for viticulture in the Azores (Portugal), SOIL, 1, pp. 515–526.
- Medina, J. M. B. and Grilo, J. T. (1981). Esboço Pedológico da Ilha Graciosa (Açores). Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica e Universidade dos Açores.
- Morgan, R.P.C, Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., ... Styczen, M.E. (1998). The European soil erosion model (EUROSEM):

- a process-based approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms* 23, 527-544.
- Morgan, R.P.C. (1985). *Geomorphology and Soil*. Department of Geography, University of Cambridge and Department of Geography, University of Hull.
- Morgan, R.P.C. (1986) *Soil Erosion and Conservation*. Longman Group Limited. National Soil Resources Institute, Cranfield University, United Kingdom.
- Musgrave, G. W. (1947). The quantitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation. *Journal of Soil and Water Conservation* 2.
- Nunes, J. C. (1999). A actividade vulcânica na ilha do Pico do Plistocénico Superior ao Holocénio: Mecanismo eruptivo e hazard vulcânico. (Tese de doutoramento), Universidade dos Açores, Portugal
- Panagos, P., Borrelli, P., et al., Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe, *ELSEVIER, Environmental Science & Policy* 54, 438 – 447.
- Pimenta, M.T., (1998). Caracterização da erodibilidade dos solos a sul do rio Tejo. Lisboa.
- Pimenta, M.T., (1998a). Diretrizes para a aplicação da equação universal de perda dos solos em SIG: factor de cultura C e factor de erodibilidade do Solo K. Instituto da Água (INAG), Direcção de Serviços de Recursos Hídricos (DSRH). Lisboa.
- Pinheiro, J., Madeira, M., Monteiro, F., Medina, J. (2001). Características e classificação dos Andossolos da Ilha do Pico. *Revista de Ciências Agrárias* 24: 48-60.
- SRAM (2008). PROTA "Visão e Sistemas Estruturantes" Secretaria Regional do Ambiente e do Mar, Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos.
- Refsgaard, J.C., Storm, B. (1995). MIKE SHE. Computer models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications. 809-846.
- Renard, K. (1985). *Proceedings of the Rainfall Simulator Workshop*. United States Department of Agriculture. Arizona.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., and Porter, J. P. (1991). RUSLE: Revised universal soil loss equation. *Journal Soil Water Conservation* 46: 30-33.
- Ricardo, R. P., Madeira, M., Medina, J. M. B., Marques, M. M., and Furtado, A. F. S.: (1977). Esboço pedológico da ilha de S. Miguel (Açores), *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, 37, 275– 385.

- San Miguel de la Camera, M., Bravo, T. (1967). Catalogue of the Active Volcanoes of the Atlantic Ocean. Part 21. International Association of Volcanology, Naples.
- Smith, D.D. (1941). Interpretation of soil conservation data for field use. *Agricultural Engineering* 22
- Smith, D.D., Whitt, D.M., (1948). Estimating soil losses from field areas. *Agricultural Engineering*, 29, 394–396.
- Smith, R.E., Goodrich, D.C., Woolhiser, D.A., and Unkrich, C.L. (1995). KINEROS – A kinematic runoff and erosion model. Chap. 20 of *Computer Models of Watershed Hydrology*, Water Resources. Highlands Ranch, Colorado.
- SRAM (2009). Plano de Gestão de Recursos Hídricos (2009-2015) . Relatório Técnico | Caracterização da Situação de Referência e Diagnóstico – PGRHI Pico. Secretaria regional do Ambiente e do Mar.
- SRAM (2007). Carta de Ocupação do Solo da Região Autónoma dos Açores. Secretaria Regional do Ambiente e do Mar, Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos, Ponta Delgada.
- SSSA (1996) *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*, SSSA Book Series 5.3. Soil Science Society of America. American Society of Agronomy.
- Strahler, A.N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*
- Thompson, R.D.; Manning, A.M.; Mitchell, C.W.; Parry, M.; Townshend, J.R. (1986). *Processes in Physical Geography*, Longman, London.
- Van-Camp. L., Bujarrabal, B., Gentile, A-R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C. and Selvaradjou, S-K. (2004). Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/5, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- Williams J.R., Renard K.G. & Dyke P.T. (1983). EPIC: a new method for assessing erosion's effect on soil productivity. *Journal Soil and Water Conservation* 38 :381-383.
- Wischmeier, W. & Smith, D. (1965). Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation. U.S. Department of Agriculture Handbook, N.º 282, United States Department of Agriculture, Washington.

- Wischmeier, W. & Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a Guide to conservation planning. Department of Agriculture Handbook, N.º 537, United States Department of Agriculture, Washington D.C..
- Zbyszewski, G., Ferreira C.R., Ferreira O.V., Assunção C.T., (1963a). Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50 000. Notícia explicativa da Folha A, Ilha do Pico (Açores). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 25p.
- Zbyszewski, G., Ferreira C.R., Ferreira O.V., Assunção C.T., (1963b). Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50 000. Notícia explicativa da Folha B, Ilha do Pico (Açores). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 21p.
- Zingg, A.W., (1940). Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. Agricultural Engineering, 21 (2), 59–64.

ANUÁRIOS CLIMATOLÓGICOS

- SMN (1959). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XII – Ano de 1958, I Parte. Continente e Ilhas do Atlântico-Norte (Observações De Superfície). Lisboa. Serviço Meteorológico Nacional.
- SMN (1960). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XIII – Ano de 1959, I Parte. Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Serviço Meteorológico Nacional.
- SMN (1961). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XIV – Ano de 1960, I Parte. Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Serviço Meteorológico Nacional.
- SMN (1962). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XV – Ano de 1961, I Parte. Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Serviço Meteorológico Nacional.
- SMN (1963). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XVI – Ano de 1962, I Parte. Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Serviço Meteorológico Nacional.
- SMN (1965). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XVIII – Ano de 1964, I Parte. Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Serviço Meteorológico Nacional.

- SMN (1966). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XIX – Ano de 1965, I Parte.
Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Serviço Meteorológico Nacional.
- SMN (1967). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XX – Ano de 1966, I Parte.
Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Serviço Meteorológico Nacional.
- SMN (1968). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXI – Ano de 1967, I Parte.
Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Serviço Meteorológico Nacional.
- SMN (1969). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXII – Ano de 1968, I Parte.
Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Serviço Meteorológico Nacional.
- SMN (1970). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXIII – Ano de 1969, I Parte.
Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Serviço Meteorológico Nacional.
- SMN (1975). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXIV – Ano de 1970, I Parte.
Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Serviço Meteorológico Nacional.
- INMG (1979). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXV – Ano de 1971, I Parte.
Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- INMG (1982). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXVI – Ano de 1972, I Parte.
Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- INMG (1981). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXVII – Ano de 1973, I Parte.
Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- INMG (1982). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXVIII – Ano de 1974, I Parte.
Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.

- INMG (1982). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXIX – Ano de 1975, I Parte. Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- INMG (1983). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXX – Ano de 1976, I Parte. Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- INMG (1983). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXX – Ano de 1976, I Parte. Continente, Açores e Madeira (Observações De Superfície). Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- INMG (1983). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXXI – Ano de 1977, I Parte - B. Açores (Observações De Superfície). Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- INMG (1987). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXXII – Ano de 1978, I Parte – Observações de Superfície. Fascículo B – Açores. Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- INMG (1988). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXXIII – Ano de 1979, I Parte – Observações de Superfície. Fascículo B – Açores. Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- INMG (1988). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXXIV – Ano de 1980, I Parte – Observações de Superfície. Fascículo B – Açores. Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- INMG (1988). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXXV – Ano de 1981, I Parte – Observações de Superfície. Fascículo B – Açores. Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- INMG (1988). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXXVI – Ano de 1982, I Parte – Observações de Superfície. Fascículo B – Açores. Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- INMG (1988). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXXVII – Ano de 1983, I Parte – Observações de Superfície. Fascículo B – Açores. Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.

INMG (1989). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXXVIII – Ano de 1984, I Parte – Observações de Superfície. Fascículo B – Açores. Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.

INMG (1989). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XXXVIX – Ano de 1985, I Parte – Observações de Superfície. Fascículo B – Açores. Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.

INMG (1990). Anuário Climatológico de Portugal, Volume XL – Ano de 1986 I Parte – Observações de Superfície. Fascículo B – Açores. Lisboa. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.

DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

CLIMAAT (2005). Modelo CIELO – Precipitação acumulada (mm) à escala 1:250000. Ilha do Pico. Universidade dos Açores.

CNMG (2005). Modelo CIELO – Precipitação acumulada (mm) à escala 1:250 000. Ilha da Graciosa. Universidade dos Açores. Centro de Clima, Meteorologia e Mudanças Globais.

CNMG (2005). Modelo CIELO – Precipitação acumulada (mm) à escala 1:250 000. Ilha de São Miguel. Universidade dos Açores. Centro de Clima, Meteorologia e Mudanças Globais.

CNMG (2005). Modelo CIELO – Precipitação acumulada (mm) à escala 1:250 000. Ilha de Santa Maria.. Universidade dos Açores. Centro de Clima, Meteorologia e Mudanças Globais. Centro de Clima, Meteorologia e Mudanças Globais.

CNMG (2005). Modelo CIELO – Temperatura Média Anual (°C) à escala 1:250 000. Ilha do Pico. Universidade dos Açores. Centro de Clima, Meteorologia e Mudanças Globais.

CNMG (2005). Modelo CIELO – Temperatura Média Anual (°C) à escala 1:250 000. Ilha da Graciosa. Universidade dos Açores. Centro de Clima, Meteorologia e Mudanças Globais.

CNMG (2005). Modelo CIELO – Temperatura Média Anual (°C) à escala 1:250000. Ilha de São Miguel. Universidade dos Açores.

- CNMG (2005). Modelo CIELO – Temperatura Média Anual (°C) à escala 1:250000. Ilha de Santa Maria. Universidade dos Açores. Centro de Clima, Meteorologia e Mudanças Globais.
- DRRF (2007). Inventário Florestal da Região Autónoma dos Açores. Direção Regional dos Recursos Florestais.
- Feraud, V.H. (1977). Carta Vulcanológica da ilha do Pico. Escala 1:50 000. Instituto de Geociências dos Açores (Ed.), Ponta Delgada.
- IGeoE (2001). Carta Militar de Portugal Série M889 - Folha 07 - Horta (Faial-Açores) à escala 1:25 000. Instituto Geográfico do Exército.
- IGeoE (2001). Carta Militar de Portugal Série M889 à escala 1:25 000- Folhas: 08 - S.Roque do Pico (Pico-Açores) ,2001; 10 - Candelária (Pico-Açores). ,2001; . 11 - S.Mateus (Pico-Açores), 2001.
- ISRIC (2016) Sistema de Predição de dados acerca de propriedades dos solos. <https://www.soilgrids.org> (Acedido pela última vez a 26 de janeiro de 2017)
- Madeira, M. (1980). Esboço Pedológico da Ilha da Santa Maria (Açores). 1:100 000. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica.
- Medina, J. M. B. & Grilo, J. T. (1981). Esboço Pedológico da Ilha Graciosa. 1:100 000. (Açores). Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica e Universidade dos Açores.
- Ricardo, R. P., Madeira, M., Medina, J. M. B., Marques, M. M., & Furtado, A. F. S. (1977). Esboço pedológico da ilha de S. Miguel (Açores). 1:200 000, Anais do Instituto Superior de Agronomia, 37, 275 – 385.
- SRAM/DROTRH (2007). Carta de Ocupação do Solo da Região Autónoma dos Açores. Ed. Secretaria Regional do Ambiente e do Mar, Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos,56p.
- Zbyszewski G., Cândido de Medeiros A., da Veiga Ferreira O. (1972). Carta Geológica da Ilha da Graciosa na escala de 1:50 000. Ilha de Graciosa (Açores) Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa
- Zbyszewski G., da Veiga Ferreira O. (1959). Carta Geológica da Ilha de S. Miguel - Folha A na escala de 1:50 000. Ilha de São Miguel (Açores) Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

- Zbyszewski G., da Veiga Ferreira O. (1959). Carta Geológica da Ilha de S. Miguel - Folha B na escala de 1:50 000. Ilha de São Miguel (Açores) Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa
- Zbyszewski G., da Veiga Ferreira O. (1961). Carta Geológica da Ilha de Santa Maria na escala de 1:50 000. Ilha de Santa Maria (Açores) Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa
- Zbyszewski, G., Ferreira C.R., Ferreira O.V., Assunção C.T., (1963). Carta Geológica da Ilha do Pico - Folha A na escala de 1:50 000. Ilha do Pico (Açores). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Zbyszewski, G., Ferreira C.R., Ferreira O.V., Assunção C.T., (1963). Carta Geológica da Ilha do Pico - Folha B na escala de 1:50 000. Ilha do Pico (Açores). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

NORMATIVOS

- Decreto-lei n.º 468/71, de 5 de novembro – Revê o regime jurídico dos terrenos do domínio público hídrico
- Decreto-Lei n.º 321/83, de 5 de julho - Cria a Reserva Ecológica Nacional
- Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março - Revê o regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional (REN), estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 321/83 de 5 de julho
- Decreto-lei n.º 213/92, de 12 de outubro - Altera o Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março (Reserva Ecológica Nacional)
- Decreto-lei n.º 180/2006, de 6 de setembro - Altera o regime instituído pelo Decreto-lei 93/30, de 19 de março
- Decreto-lei n.º 166/2008, de 22 de agosto - Aprova o Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional e revoga o Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de março
- Declaração de Retificação n.º 63-B/2008, de 21 de outubro - Retifica o Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto,
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro - Aprova as Orientações Estratégicas de âmbito nacional e regional que consolidam as orientações para a delimitação de +áreas integradas na REN.
- Decreto-lei n.º 239/2012, de 2 de novembro – Procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto
- Decreto-lei n.º 96/2013, de 19 de julho - Estabelece o regime jurídico a que estão sujeitas, no território continental, as ações de arborização e rearborização com recurso a espécies florestais.

Decreto-Lei n.º 141/2014, de 19 de setembro - Estabelece os princípios e normas a que deve obedecer a produção cartográfica no território nacional.

ANEXO

Quadro 1 – Codificações para modelação de tipo de solo

a) Código de litologia

Classe na carta geológica	Classe na notícia explicativa	Code
Santa maria		
Aluviões	Aluviões e areias de praia	101
Antigas praias quaternárias	Formações de antigas praias	103
Basaltos indiferenciados	Basaltos indiferenciados	110
Basaltos do facho e de são pedro	Basaltos do facho e de são pedro	110
Cones de escórias	Cones de escórias	108
Depósitos de vertentes	Depósitos de vertentes	102
Depósitos de vertentes e formações de antigas praias quaternárias	Formações de antigas praias quaternárias	103
Materiais de projeção	Materiais de projeção	107
Tufos vermelhos de almagreira e de são pedro	Tufos vermelhos de almagreira e de são pedro	111
Tufos, grés, conglomerados e calcários do vindoboniano	Tufos, grés, conglomerados e calcários do vindoboniano	106
Graciosa		
Andesitos	Andesitos	109
Areias e cascalheiras de praia	Depósitos de praias modernas	103
Cascalheiras de antigas praias quaternárias	Depósitos de antigas praias quaternárias	103
Complexo basáltico	Basaltos	110
Materiais de projeção	Materiais de projeção	107
Traquitos	Traquitos	112
Cones de escórias	Cones de escórias	108
São Miguel		
Aluviões modernas e fajãs	Aluviões modernas e fajãs	101
Aluviões modernas, dunas e areias de praia	Aluviões modernas, dunas e areias de praia	101
Andesitos e andesitos periódicos	Andesitos e andesitos periódicos	109
Basaltos	Basaltos	110
Completo basáltico do nordeste e basaltos modernos	Basaltos	110
Cones de escórias	Cones de escórias	108
Conglomerados quaternários	Formações de antigas praias e terraços	103
Conglomerados da povoação	Conglomerados da povoação	104
Depósitos de caldeiras naturais e das fumarolas	Depósitos de caldeiras naturais e das fumarolas	105
Formações de antigas praias e terraços	Formações de antigas praias e terraços	103
Materiais de projeção	Materiais de projeção	107
Traquitos e Latitos	Traquitos e Latitos	112

Pico		
Aluviões	Aluviões e areias de praia	101
Andesitos e andesitos periódicos	Andesitos e andesitos periódicos	109
Andesitos periódicos	Andesitos periódicos	109
Andesitos periódicos dos mistérios da Prainha	Andesitos e andesitos periódicos	109
Andesitos periódicos dos mistérios de santa luzia	Andesitos e andesitos periódicos	109
Basaltos	Basaltos	110
Basaltos das erupções dos seculos XVI e XVIII	Basaltos	110
Basaltos peridóticos de tendência andesítica de Ribeira, Ponta da Ilha e St ^a . Bárbara	Basaltos	110
Cones de escórias	Cones de escórias	108
Dejeções torrenciais	Aluviões e areias de praia	101
Formações de vertentes	Formações de vertentes	102
Materiais de projeção	Materiais de projeção	107

b) Código do coberto vegetal

Espécie Dominante	CODE
Acacia melanoxylon	20
Chamaecyparis lawsoniana	21
Cryptomeria japonica	22
Eucalyptus globulus	23
Myrica faya	24
Persea indica	25
Pinus pinaster	26
Pinus tumbergi	27
Pittosporum undulatum	28
Outras resinosas/folhosas/vegetação natural	29
Incultos / área social/ rede viária/ improdutivo	999

c) Código de classe de declive

Declives %	CODE
0-3	30
3-8	31
8-13	32
13-20	33
20-45	34
>45	35

d) Código de temperatura média

TEMP °C	CODE
10	400
11	401
12	402
13	403
14	404
15	405
16	406
17	407
18	408
19	409
20	410
>20	411

e) Códigos de temperatura média

Precipitação(mm)	CODE
<1000	40
1000 - 2000	41
2000-3000	42
3000 - 4000	43
4000-5000	44
5000 >	45

f) Código de tipo de solo

Solo	Code
Aluviosolos	200
Andossolos Ferruginosos	201
Andossolos Insaturados	202
Andossolos Saturados	203
Barros Pardos	204
Barros Pretos	204
Coluviosolos	205
Regossolos Cascalhentos	206
Regossolos Psamíticos	207
Solos Delgados Alofânicos	208
Solos Litólicos Húmicos	209
Solos Litólicos Não-Húmicos	210
Solos Mólicos Delgados/Pardos	217
Solos Pardos Ácidos	211
Solos Pardos Ândicos	212
Solos Pardos Francamente Lavados	213
Solos Pardos Normais	214
Solos Rególicos e Rególicos Cascalhentos	215
Terreno Rochoso	216
Litossolos	218
Área Social/Lagoas	999

Quadro 2 - Lacunas de dados para o modelo do fator R

Meses sem dados					
	Madalena	São Roque	Lagoa do Caiado	Lagoa do Capitão	Bandeiras
1958	0	5	1	3	11
1959	0	0	0	4	0
1960	0	0	0	8	0
1961	0	0	12	1	0
1962	0	0	0	0	8
1963	12	12	12	12	12
1964	0	0	0	0	1
1965	0	0	0	0	3
1966	2	0	0	0	12
1967	0	0	0	0	3
1968	0	1	1	0	1
1969	0	0	0	3	1
1970	0	0	0	0	0
1971	0	0	0	0	0
1972	2	7	0	0	4
1973	2	0	0	0	4
1974	2	1	0	0	2
1975	0	0	0	1	4
1976	0	0	1	0	3
1977	0	0	0	1	0
1978	0	0	0	12	0
1979	0	0	0	12	0
1980	0	0	12	12	0
1981	0	0	12	12	0
1982	0	0	12	12	0
1983	0	0	12	12	0
1984	0	0	12	12	0
1985	0	0	12	12	0
1986	0	0	12	12	0
Total de Lacunas	20	26	111	141	69
Total de Lacunas (%)	5,95	7,74	33,04	41,96	20,54

Quadro 3 – Resultado do modelo do fator K

SOLO 1													
	201	202	203	204	205	206	208	209	210	212	214	215	217
201	62991	11191	399	0	0	0	0	0	0	0	172	0	0
202	25950	70430	27197	0	0	3	0	0	0	269	4815	0	0
203	0	4587	39466	0	0	164	0	0	0	2939	2222	0	0
204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2345	226	0	0
205	0	5	0	0	0	0	0	0	0	140	38	0	0
206	110	4664	21937	0	0	6359	0	0	0	1450	4529	0	0
208	0	69	9140	0	0	2637	0	0	0	0	242	0	0
209	0	4035	264	0	0	0	0	0	0	6	756	0	0
210	0	408	1087	0	0	0	0	0	0	182	1279	0	0
212	1	3018	8037	0	0	2490	0	0	0	11864	10070	0	0
214	0	4651	9875	0	0	0	0	0	0	1464	19712	0	0
215	0	678	1037	0	0	0	0	0	0	2391	755	0	0
217	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1615	1436	0	0
Total	89052	103736	118439	0	0	11653	0	0	0	24665	46252	0	0
Erro	26061	33306	77936	0	0	5294	0	0	0	12801	26540	0	0
Erros %	6,6179	8,4577	19,791	0	0	1,3443	0	0	0	3,2507	6,7395	0	0
Soma de erros													393797
													46,20